This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

Chem 8409.08.3 F

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SCIENCE CENTER LIBRARY

ALPHONSE PICARD & FILS
EDITEURS
82
LIBRAIRIE ANCIENNE D'OCCASION
COMMISSION LIVRES NEUFS FRANÇAIS & ETRANGERS

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

L. MARCHIS

LAURÉAT DE L'INSTITUT (PRIX PLUMEY ET SAINTOUR)
PROFESSEUR DE PHYSIQUE GÉNÉRALE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

16.867

PRODUCTION ET UTILISATION

DES

GAZ PAUVRES

PRÉFACE DE M. MAURICE LÉVY

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

PARIS (VIe)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1908

Tous droits réservés

Digitized by Google

Chem 8409.08.3 F

HARVARD COLLEGE
JUN 14 1921
LIBRARY

Degrand fund

Digitized by Google

A MONSIEUR MAURICE LÉVY

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Hommage de respectueuse reconnaissance.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRÉFACE

Des innombrables inventions vraies ou prétendues que chaque jour voit naître, quelques-unes seulement sont conformes aux principes de la science, ce qui n'implique nullement qu'elles soient toujours dues à des savants. Le génie supplée à tout, même à la science acquise dans les livres et les laboratoires. Il la remplace par celle qui est puisée directement dans la nature. Les œuvres de Giffard et de Gramme sont là pour en témoigner. Mais, qu'elles sortent du cerveau d'un savant ou de celui d'un simple ouvrier, observateur et judicieux interprète des phénomènes qu'il constate chaque jour, les seules inventions qui réussissent sont celles qui ont la science pour fondement. Elles sortent rapidement de la période des essais et des tâtonnements, pour entrer dans la voie productive où chacune, pour sa part, bouleverse en peu d'années le mode d'exploitation du domaine industriel qu'elle embrasse.

Tel a été le cas des gaz liquéfiés. Il y a une vingtaine d'années, on aurait pu les croire destinés à ne servir que la science pure. Aujourd'hui, capables de maintenir une basse température dans des entrepôts fixes ou flottants de plusieurs milliers de mètres cubes, ils permettent la parfaite conservation des matières alimentaires, notamment dans les halles et sur les navires. Ils rendent ainsi possible l'échange entre les divers pays des matières les plus altérables à la température ordinaire et que, pour cette raison, on n'eût jamais cru susceptibles de devenir un objet de trafic lointain.

La bobine de Masson et de Ruhmkorff, qui était restée pendant longtemps un instrument de laboratoire, est devenue en peu d'années l'un des plus puissants auxiliaires de l'industrie électrique, et notamment du transport électrique de la force à des distances et avec des intensités tout à fait inespérées.

La turbine à vapeur est à peine née à la vie industrielle que déjà on l'emploie à la propulsion des paquebots et même des cuirassés à grande puissance et à grand rayon d'action.

Mais ce sont les moteurs à explosion qui offrent peut-être l'exemple le plus frappant de ce que peut sur le développement de l'industrie humaine une idée heureuse venue à son heure, c'est-à-dire à l'heure où l'industrie est prête à la réaliser.

Le moteur à essence était encore, en 1890, un objet de curiosité ; à peine quelques

Digitized by Google

timides essais avaient-ils été entrepris pour l'utiliser dans la propulsion d'embarcations de plaisance. Aujourd'hui, ce moteur se construit par milliers à des puissances qui vont jusqu'à 300 et 400 chevaux ; il entraîne sur les routes des voitures qui marchent à des vitesses que l'on croyait uniquement réservées aux locomotives.

Un moteur à gaz de 100 chevaux dans un seul cylindre était, il y a douze ans à peine, considéré comme une utopie par les praticiens eux-mêmes ; nombre d'ingénieurs considéraient que les applications des moteurs à explosion devaient être limitées aux faibles puissances. A l'époque actuelle, les usines Cockerill construisent des moteurs à gaz capables de produire jusqu'à 1.500 chevaux par cylindre ; les moteurs à gaz de 2.000 et 3.000 chevaux sont employés dans l'industrie sidérurgique à la production de l'énergie électrique qui lui est nécessaire.

La production et l'utilisation de l'énergie se transforment donc dans le domaine industriel avec une rapidité déconcertante. Il en résulte que l'ingénieur mis à la tête d'une exploitation a besoin, non seulement de se tenir au courant des progrès réalisés dans la branche spéciale dans laquelle il est plus particulièrement compétent, mais encore de suivre le développement de branches parallèles qui sont susceptibles, à un moment donné, de transformer le mode d'exploitation jusqu'alors mis en œuvre. L'ingénieur métallurgiste qui produit de l'acier au convertisseur Bessemer ou au four Martin doit suivre avec soin le progrès des fours électriques, qui peuvent rapidement se substituer en totalité ou en partie aux appareils actuels de fabrication. C'est encore ce même métallurgiste qui, pour diminuer le prix de revient de la fonte et soutenir la concurrence que se font entre elles les diverses forges, est nécessairement conduit soit à mieux utiliser l'énergie encore contenue dans les gaz qui s'échappent du gueulard en les faisant exploser dans des moteurs à gaz au lieu de les brûler sous des chaudières, soit à régulariser sa fabrication ou à en augmenter le rendement en séchant le vent soufflé aux tuyères à l'aide d'appareils frigorifiques. Projet d'installation électrique, substitution de moteurs à gaz aux machines à vapeur, étude de production industrielle du froid, tels sont les problèmes en face desquels se trouve l'ingénieur métallurgiste. Le chimiste, le mécanicien, l'ingénieur des mines peuvent être aux prises avec des difficultés du même ordre ; ils peuvent avoir à résoudre des questions pratiques dont leur spécialisation primitive ne leur a pas, en général, permis de suivre tous les développements.

Lorsque les circonstances obligent un ingénieur à résoudre de tels problèmes, où celui-ci va-t-il se procurer rapidement l'ensemble des renseignements théoriques et pratiques lui permettant de connaître l'état actuel de la question, et par suite de juger, parmi les projets présentés par les spécialistes, celui qui convient le mieux à son mode d'exploitation ? Les cours d'écoles, si bien faits qu'ils soient, ne lui sont pas toujours d'un secours suffisant ; ils ne peuvent, en effet, que contenir l'exposé des principes généraux sans s'appesantir sur les détails particuliers à chaque branche d'indus
souvent muets sur des applications encore peu répandues dans la pratique industrielle.

Les mémoires épars dans des périodiques écrits dans diverses langues peuvent seuls

Digitized by Google

donner à l'ingénieur les renseignements qui lui sont utiles. Mais c'est là un travail de bibliographie que rend parfois impossible l'éloignement d'une bibliothèque convenablement pourvue; dans tous les cas, c'est un travail le plus souvent long, fastidieux et peu en harmonie avec les occupations d'un ingénieur absorbé par la conduite d'une fabrication qui ne peut être arrêtée. Il lui serait alors éminemment utile de trouver sur la question spéciale qui l'intéresse un ouvrage bien coordonné, simplement écrit, lui donnant, en même temps que la bibliographie complète de cette question, l'exposé des idées contenues dans les divers mémoires ainsi que l'énoncé des résultats obtenus dans différents essais ou dans des installations en cours d'exploitation. Un tel ouvrage, sans avoir la prétention de se substituer à la pratique et de donner à cet ingénieur toutes les connaissances que seule elle permet d'acquérir, lui serait d'un grand secours pour se mettre rapidement au courant du développement d'une industrie dont les procédés lui deviennent utiles, mais dont il n'a pas eu le temps de suivre les derniers perfectionnements.

C'est une telle tâche que M. Marchis s'est efforcé de réaliser en instituant à la Faculté des Sciences de Bordeaux des cours industriels à l'usage des ingénieurs.

Ce qui caractérise ces cours au point de vue pratique, c'est la richesse de la documentation que M. Marchis a su se procurer et leur donner.

Au point de vue théorique, ils ne s'arrêtent aux principes généraux de la Science que dans la mesure utile au sujet à traiter. Mais, dans cette mesure, les principes sont exposés avec la netteté et l'exactitude habituelles à notre enseignement universitaire.

Ces qualités se retrouvent amplement dans l'ouvrage dont il s'agit ici et qui est la mise au point d'un cours sur *la Production et l'Utilisation des gaz pauvres* professé en 1905-1906 à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Si l'on fait passer sur du coke chauffé au rouge, soit de l'air seul, soit de la vapeur d'eau seule, soit un mélange convenable d'air et de vapeur d'eau, on obtient un gaz contenant en proportions variables de l'anhydride carbonique, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. La composition de ce gaz dépend de la vitesse de passage du courant d'air insufflé, de la grandeur de la surface de contact entre cet air et le carbone incandescent, de la proportion de vapeur d'eau existant dans cet air, de la température à laquelle est porté ce même air avant de passer sur le carbone au rouge. L'étude des influences de chacun de ces facteurs sur la composition des gaz permet d'énoncer quelques-unes des règles fondamentales qui doivent présider à la construction des appareils producteurs.

Le *gaz à l'air* est obtenu par l'action de l'air sur le carbone incandescent; il est surtout formé d'oxyde de carbone et d'anhydride carbonique. Il est utilisé pour le chauffage de fours tels que les fours Siemens-Martin employés dans la fabrication de l'acier sur sole, les fours de verrerie ou les fours à cornues d'usine à gaz.

Le passage de la vapeur d'eau sur du coke porté au rouge donne le *gaz à l'eau*,

Digitized by Google

contenant environ 45 0/0 d'hydrogène et 35 0/0 d'oxyde de carbone. Cette grande proportion de gaz combustibles et réducteurs donne à ce mélange un pouvoir calorifique assez élevé et justifie son emploi dans tous les cas où, dans l'industrie, on a besoin soit d'une flamme à température élevée, comme dans l'éclairage par manchons à l'incandescence, soit d'une flamme réductrice très chaude, comme dans la soudure autogène.

On donne plus particulièrement le nom de *Gaz pauvre* ou de *Gaz mixte de gazogène* au mélange gazeux formé d'oxyde de carbone, d'anhydride carbonique et d'hydrogène que l'on obtient en faisant passer un mélange d'air et de vapeur d'eau sur du coke chauffé au rouge. Ce gaz, dans lequel la proportion d'hydrogène est voisine de 16 à 18 0/0, celle d'oxyde de carbone de 20 à 35 0/0, et dont le pouvoir calorifique est d'environ 1.300 calories, est employé pour l'alimentation des moteurs. Il peut être produit, soit en insufflant le mélange d'air et de vapeur d'eau dans la cuve du générateur, qui prend alors le nom de *Gazogène soufflé ;* soit en aspirant le mélange au moyen du moteur lui-même, d'où le nom de *Gazogène par aspiration* donné aux appareils de ce type. A cause de leur simplicité et du moindre danger qu'ils présentent au point de vue du dégagement des gaz pauvres éminemment toxiques, les gazogènes par aspiration sont presque uniquement employés dans l'industrie. M. Marchis consacre à leur étude un chapitre spécial, dans lequel il passe en revue les divers modes de construction de ces appareils tant au point de vue des formes à adopter pour les cuves et les grilles qu'au point de vue de la place et de l'amplitude à donner aux vaporisateurs, aux appareils réchauffeurs d'air, aux trémies de chargement, etc.

Nous avons supposé que l'on obtenait le gaz pauvre en faisant passer le mélange d'air et de vapeur d'eau sur du coke au rouge, c'est-à-dire sur un combustible formé presque exclusivement de carbone et de cendre. En réalité, on utilise le plus souvent de l'anthracite ou certains charbons maigres qui donnent naissance à une petite quantité de goudrons et d'hydrogène sulfuré, produits qu'il importe d'éliminer si l'on veut éviter la détérioration et l'arrêt des moteurs. Aussi les générateurs de gaz pauvres doivent-ils être munis d'appareils d'épuration (laveurs, épurateurs chimiques), dont le bon fonctionnement est une des conditions indispensables d'une marche normale d'un moteur alimenté par des gaz pauvres.

Les anthracites et certains charbons maigres sont des combustibles dont le prix est très élevé. Aussi cherche-t-on depuis longtemps à les remplacer par des combustibles de moindre prix, tels que les lignites, les tourbes, le bois, etc. Malheureusement toutes ces substances donnent, à la distillation, des produits volatils qui sont éminemment nuisibles au fonctionnement des moteurs. On est parvenu à éliminer ces produits par des lavages à l'eau à température élevée ; mais les appareils ainsi conçus sont trop compliqués pour être d'une application courante. La destruction de ces matières volatiles par leur passage sur du coke au rouge donne de meilleurs résultats et a conduit à la construction de divers types de gazogènes actuellement très répandus dans l'industrie.

Digitized by Google

L'élimination des matières volatiles par des lavages méthodiques permet la récupération de sous-produits. Cette méthode a été employée en Angleterre par Mond pour recueillir les produits ammoniacaux qui prennent naissance dans l'action à basse température de la vapeur d'eau sur des charbons riches en azote. D'immenses installations ont été construites ; certaines gazéifient jusqu'à 200 tonnes de charbon par jour et fournissent du gaz à des fours et à des moteurs à gaz de 500 à 1.000 chevaux.

Mais le développement des moteurs à gaz de grande puissance ne s'est produit qu'à partir du moment où il a été possible d'alimenter ces moteurs au moyen des gaz sortant du gueulard des hauts fourneaux. On sait que ces gaz contiennent encore environ 35 0/0 d'éléments combustibles formés principalement d'oxyde de carbone.

La chaleur dégagée par la combustion de ces gaz peut être utilement employée soit pour le réchauffage des Cowper, soit pour la production d'une certaine quantité d'énergie mécanique. Pendant longtemps on s'est contenté de brûler ces gaz sous des chaudières fournissant de la vapeur à des machines actionnant les appareils du service du haut fourneau; on obtenait ainsi un excédent de puissance de 4 à 5 chevaux environ par tonne de coke consommée par vingt-quatre heures. Si, au lieu de passer par l'intermédiaire chaudière et moteur dont le rendement est très faible, on produit l'énergie mécanique en alimentant directement un moteur à gaz au moyen des gaz du gueulard, on est conduit à réaliser un excédent de puissance près de 4 fois plus considérable que dans le cas précédent. Cette puissance disponible de 20 chevaux par tonne de charbon consommée en vingt-quatre heures permet d'assurer le service d'une usine métallurgique et même de produire un transport de force à des prix très rémunérateurs. C'est ainsi qu'aux usines Cockerill la station centrale, composée uniquement de moteurs à gaz alimentés par du gaz de haut fourneau, fournit de la lumière et de l'énergie à d'immenses ateliers.

Les hauts fourneaux ne sont pas les seuls appareils sidérurgiques capables de produire de l'énergie utilisée dans des moteurs à gaz. Les fours à coke métallurgique, si répandus dans tout le district rhénan-wesphalien, commencent aussi à être employés à ce point de vue comme gazogènes.

L'épuration de ces gaz est la plus grande difficulté que l'on ait rencontrée dans leur utilisation. Les poussières très fines et très denses qui se maintiennent en suspension dans les gaz des hauts fourneaux doivent être éliminées avec le plus grand soin ; on est parvenu actuellement, par un refroidissement suffisant et par une sorte de turbination en présence de l'eau, à réduire la proportion de ces poussières à être de 2 centigrammes par mètre cube. Les gaz de fours à coke ne contiennent pas de telles poussières, mais la proportion assez grande des goudrons, des composés sulfurés et cyanés nécessite des appareils d'épuration extrêmement développés.

Les moteurs de dimensions colossales qui utilisent les gaz des hauts fourneaux et des fours à coke appartiennent soit au type à quatre temps (moteurs Cockerill, de la Société de Nüremberg, Otto-Deutz, etc.), soit au type à deux temps (moteurs Œchel-

Digitized by Google

häuser, Kœrting). Tous les moteurs à quatre temps sont généralement horizontaux et à double effet; ils ont l'aspect d'un moteur à vapeur muni d'une distribution à soupapes du genre Sülzer. Ils ne diffèrent entre eux que par des détails de construction que M. Marchis décrit avec soin pour les différents types. Les rendements thermodynamiques sont élevés; MM. Hubert et Witz ont pu obtenir dans un essai de moteur Cockerill un rendement voisin de 30 0/0. Les moteurs à deux temps, nécessitant des pompes auxiliaires pour l'alimentation du moteur, sont moins en faveur que les moteurs à quatre temps. Ceux-ci ont regagné l'avance qu'avait prise au début le moteur Kœrting, alors que le double effet n'avait pas encore été appliqué au moteur à quatre temps.

Tel est le plan général de cet ouvrage. J'espère que ce court résumé en montrera l'importance et prouvera qu'il est digne de ceux que M. Marchis a précédemment publiés sur les divers sujets, toujours bien choisis et d'actualité industrielle, qu'il a traités dans ses leçons.

L'Université ou, pour mieux dire, les universités de France doivent profiter du degré de liberté, même s'il n'est pas toute la liberté, que leur a accordé la République pour briser le moule dans lequel elles ont été enfermées par le régime du premier Empire. Elles doivent régionaliser leur science, et, en particulier, la rendre profitable, dans chaque contrée, à l'industrie locale, autant que le permet le souci de la culture de la Science d'ordre général.

Beaucoup de jeunes maîtres tendent à ce but. M. Marchis aura été l'un des premiers à le viser et l'un des plus féconds.

Ce qui montre, d'ailleurs, l'intérêt qui s'attache à son initiative, c'est la façon dont elle a été accueillie dans la région bordelaise. Les ingénieurs de Bordeaux et des environs lui ont prouvé combien ils l'apprécient en se portant en masse à ses leçons et en l'aidant dans leur publication. Les corps élus l'ont également assisté dans ce but. L'Académie des Sciences, qui tient à honneur d'encourager toutes les initiatives utiles à la Science et à l'Industrie, lui a par deux fois décerné des prix. Enfin le Ministère de l'Instruction Publique vient de lui créer à Bordeaux une chaire spéciale de Physique.

Tout récemment, M. le Professeur Lippmann a traité, avec l'autorité et le talent qui lui appartiennent, cette question des rapports entre l'Université et l'Industrie dans notre pays, à la réunion qui a eu lieu, à Lyon, de l'Association française pour l'avancement des Sciences. Il a exprimé le regret que, contrairement à ce qui se passe notamment en Allemagne, l'industrie française ne fasse pas pénétrer directement la science dans l'usine par l'emploi de jeunes savants formés dans nos universités.

Il est certain que l'industrie allemande, notamment l'industrie chimique, s'est peu à peu classée la première, en partie par l'emploi de jeunes docteurs, qu'on appelle les *collaborateurs scientifiques*, et qui n'ont d'autre mission que de travailler, selon leur inspiration, aux progrès scientifiques de la maison industrielle où ils sont employés.

Mais M. le Professeur Lippmann est de l'Université et, en regrettant que les choses

Digitized by Google

ne se passent pas de même en France, il attribue le fait au manque d'initiative des industriels français. Cependant n'est-il pas permis de croire que les jeunes docteurs français ne se contenteraient peut-être pas des modestes émoluments qu'acceptent leurs collègues allemands, au moins pour leurs débuts et sauf à grandir peu à peu par leurs travaux et par les services rendus ? D'autre part, est-il certain *qu'actuellement* nos universités pourraient fournir à l'industrie des sujets suffisamment préparés dans ce but, aussi bien qu'on le fait dans l'enseignement allemand ? On peut poser cette dernière question sans manquer d'égards pour nos maîtres de l'Enseignement supérieur, dont nul plus que moi n'apprécie la science et le dévouement. Mais il y a trop peu de temps que nos universités ont droit à quelque initiative pour qu'elles puissent actuellement prétendre à rendre tous les services dont leur science serait capable. Cela viendra avec le temps. Le jour où certaines d'entre elles délivreront des diplômes visant l'industrie à des jeunes gens qui sauront prouver que leur science est de nature à contribuer à une plus grande prospérité des maisons qui les auront accueillis, l'usage se répandra bien vite de recourir à leur savoir.

Ce jour arrivera d'autant plus vite que des hommes d'initiative comme M. Marchis l'auront mieux préparé.

MAURICE LÉVY,
de l'Institut,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Digitized by Google

Digitized by Google

GAZ PAUVRES

CHAPITRE I

LES GAZOGÈNES. — LE GAZ A L'AIR

1. Gaz à l'air. — On désigne, sous le nom de *gaz à l'air* ou *gaz Siemens*, le mélange gazeux combustible obtenu dans la combustion incomplète du charbon en présence de l'air. Suivant les circonstances dans lesquelles il est produit, il contient en proportions variables de l'*oxyde de carbone*, de l'*anhydride carbonique* et de l'*azote*. Nous allons étudier les diverses circonstances qui influent sur la composition de ce gaz.

2. Quantités de chaleur mises en jeu dans les réactions de l'oxygène sur le carbone. — L'oxygène et le carbone, en réagissant l'un sur l'autre, donnent naissance à deux composés : l'anhydride carbonique CO^2 et l'oxyde de carbone CO. Ces deux réactions dégagent de la chaleur, ou, comme on dit, sont *exothermiques :* les quantités de chaleur dégagées sont, d'après les déterminations de M. Berthelot [1],

$$\underset{(12\text{ kg.})}{C\text{ amorphe}} + \underset{(32\text{ kg.})}{O^2} = \underset{(44\text{ kg.})}{CO^2\text{ gaz}} + 97.650\text{ calories-kilogrammes};$$

$$\underset{(12\text{ kg.})}{C\text{ amorphe}} + \underset{(16\text{ kg.})}{O} = \underset{(28\text{ kg.})}{CO\text{ gaz}} + 29.450\text{ calories-kilogrammes}.$$

Si on rapporte ces dégagements de chaleur au kilogramme de carbone, on voit que la formation de l'anhydride carbonique dégage 8.137,5 grandes calories et que la formation de l'oxyde de carbone dégage 2.454 grandes calories environ.

L'oxyde de carbone se combine avec l'oxygène en produisant un dégagement de chaleur qui, d'après les expériences de MM. Berthelot et Matignon [2], est

$$CO + O = CO^2 + 68.200\text{ calories-kilogrammes}.$$

3. Réduction de l'anhydride carbonique par le carbone et réaction inverse. — L'anhydride carbonique, en passant sur du charbon chauffé au rouge, lui cède

(1) Berthelot, *Thermochimie*, t. II, p. 129 (Paris, Gauthier-Villars, 1897).
(2) Berthelot, *loc. cit.*, p. 128.

Digitized by Google

la moitié de son oxygène et passe à l'état d'oxyde de carbone ; on obtient ainsi un volume de gaz double de celui de l'anhydride carbonique employé. D'après les données qui précèdent, cette réaction absorbe de la chaleur, ou, comme on dit, est *endothermique*. On a, en effet, les équations

$$CO^2 + C = 2CO + [2 \times 29.450 - 97.650],$$
$$CO^2 + C = 2CO - 38.750 \text{ calories-kilogrammes.}$$

1 kilogramme de carbone réduit $3^{kg},666$ d'anhydride carbonique en produisant $4^{kg},666$ d'oxyde de carbone ; cette réaction absorbe 3.229 calories-kilogrammes.

D'autre part, l'oxyde de carbone placé en présence du carbone donne de l'anhydride carbonique. Cette réaction inverse, indiquée par Sainte-Claire Deville, a été vérifiée par M. Boudouard (1), qui a constaté qu'à la température de 800° C. un mélange gazeux contenant 27 0/0 d'oxyde de carbone dilué dans de l'azote renferme, après son passage sur du charbon, 0,65 0/0 de gaz carbonique.

Si donc, dans des conditions convenables de température et de pression, on met en présence dans une même enceinte de l'oxyde de carbone, de l'anhydride carbonique et du charbon, les deux réactions inverses :

D'une part, transformation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone ;

D'autre part, transformation de l'oxyde de carbone en anhydride carbonique ;

peuvent se produire simultanément. On conçoit donc que ces deux réactions puissent se limiter l'une l'autre et qu'il s'établisse dans le système (anhydride carbonique, oxyde de carbone, carbone) un *état de véritable équilibre* caractérisé, à chaque température et à chaque pression, par une composition déterminée du mélange gazeux, anhydride carbonique et oxyde de carbone.

D'après une notation due à Van't Hoff, nous représentons de la manière suivante la possibilité de ces deux transformations inverses aboutissant à un état de véritable équilibre :

$$2CO \rightleftarrows CO^2 + C.$$

Dans quel sens va s'effectuer cette transformation *renversable* ou *réversible*, suivant l'expression de quelques auteurs, lorsqu'on fait varier la température à laquelle le système est soumis ou la pression qu'il supporte ? La réponse à cette question nous est donnée par deux lois énoncées en 1884 par Van't Hoff et par M. Le Chatelier (2) et connues sous les noms de *loi du déplacement de l'équilibre par variation de température* et *loi du déplacement de l'équilibre par variation de pression*.

4. Énoncé de la loi du déplacement de l'équilibre par variation de température. — La loi du déplacement de l'équilibre par variation de température est la suivante : *Un système chimique est en équilibre stable sous une pression donnée et à une température donnée* T ; *sans changer la pression, on donne à la température une valeur* T′ *un peu* supérieure *à* T, *l'équilibre est rompu. Pour atteindre le nouvel état d'équilibre, relatif à la pression donnée et à la température* T′, *le système doit éprouver un changement d'état ; si ce changement d'état se produisait sous la pression constante donnée et à la température invariable* T, *il serait accompagné d'une absorption de chaleur* (3).

(1) Boudouard, *Recherches sur les équilibres chimiques* (*Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXIV, p. 27).

(2) J.-H. Van't Hoff, *Études de Dynamique chimique* (Amsterdam, 1884) ; — H. Le Chatelier, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIX, p. 786, 1884.

(3) Nous avons énoncé la loi du déplacement de l'équilibre par variation de température en supposant le système maintenu sous pression constante ; l'énoncé en est analogue pour les systèmes maintenus sous volume constant. Il suffit de remplacer les mots *pression constante* par *volume constant*.

Digitized by Google

Appliquons cette loi au système défini plus haut.

L'état d'équilibre stable de ce système sous la pression P et à la température T est caractérisé par la pression partielle p_2 que l'oxyde de carbone exerce dans le mélange gazeux, anhydride carbonique et oxyde de carbone. Élevons la température de la valeur T à la valeur T' en maintenant le système sous la pression P : un nouvel équilibre stable se produit, caractérisé par la pression partielle p'_2, que l'oxyde de carbone exerce dans le mélange. La pression p'_2 est-elle supérieure ou inférieure à p_2? Telle est la question à laquelle nous permet de répondre la loi du déplacement de l'équilibre par variation de température.

Lorsque la pression partielle de l'oxyde de carbone passe de la valeur p_2 à la valeur p'_2, le système est le siège de l'une des deux réactions que nous avons définies plus haut. D'après la loi précédente, si la réaction qui se produit était effectuée sous la pression P et à la température T, elle absorberait de la chaleur. Or la réaction qui absorbe de la chaleur est la transformation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone. C'est donc elle qui va se produire lorsque, sous pression constante, on élève la température du système ; sous la pression P et à la température T supérieure à T', on a donc $p'_2 > p_2$. La réaction

$$2CO \leftarrow CO^2 + C$$

se produit donc de plus en plus à mesure que la température s'élève sous pression constante. La réaction inverse

$$2CO \rightarrow CO^2 + C$$

est, au contraire, *favorisée par un abaissement de température* sous pression constante.

M. Boudouard [1] a vérifié expérimentalement ces conclusions. Dans un tube de verre ou de porcelaine, chauffé à diverses températures, il introduit du charbon et du gaz carbonique ; l'une des extrémités du tube est fermée, l'autre recourbée plonge dans le mercure, de façon que la pression reste constante. L'analyse des gaz après des temps de chauffe suffisants a donné les résultats suivants.

TEMPÉRATURES EN DEGRÉS CENTIGRADES	PRESSION PARTIELLE DE CO^2 p_1 EN POUR 100 DE LA PRESSION TOTALE	PRESSION PARTIELLE DE CO p_2 EN POUR 100 DE LA PRESSION TOTALE
550	0,893	0,107
650	0,610	0,390
800	0,070	0,930
925	0,040	0,960

On peut dire que, *lorsque de l'anhydride carbonique se trouve en présence de carbone, il ne se forme pas d'oxyde de carbone au-dessous de 450° C. ; au contraire, au-dessus de 950° C., la transformation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone est pratiquement complète.* Ces résultats sont des plus intéressants au point de vue du chauffage dans les gazogènes, les hauts fourneaux, les cubilots.

Dans le cas actuel, la loi du déplacement de l'équilibre par variation de température peut, tout au moins, comme première approximation assez grossière, être représentée par une formule qui a été donnée par Hortsmann et par Gibbs. Considérons la réaction

$$CO^2 + C = 2CO.$$

(1) BOUDOUARD, *loc. cit.*

Digitized by Google

1 molécule d'anhydride carbonique donne naissance à 2 molécules d'oxyde de carbone; les pressions partielles p_1 et p_2 de l'anhydride carbonique et de l'oxyde de carbone sont reliées à la température T par l'équation

$$(1) \qquad 2 \log p_1 - 4 \log p_2 = \frac{M}{T} + N \log T + Z,$$

dans laquelle M, N, Z sont des constantes; T est la température absolue $(273 + t)$ correspondant à la température centigrade t; le symbole *log* représente un logarithme vulgaire [1].

Comme on a $p_1 + p_2 = P$, la formule (1) permet d'avoir un premier renseignement sur la composition du mélange gazeux $CO^2 + CO$ en équilibre avec le carbone à une température T.

M. Boudouard a représenté ses expériences par la formule

$$(2) \qquad 2 \log p_1 - 4 \log p_2 = \frac{18240,6}{T} - 18,59.$$

Mais, pour y parvenir, l'auteur a dû ajouter une hypothèse de plus à celles que suppose la formule (1), à savoir que la chaleur absorbée dans la réaction $(CO^2 + C = 2CO)$ est indépendante de la température, ce qui entraîne $N = 0$; de plus, quatre expériences seulement ont permis de connaître les coefficients M et Z.

5. Loi du déplacement de l'équilibre par variation de pression. — Avant d'aller plus loin, il convient de rechercher quelle est l'influence de la pression sur la transformation $2CO \rightleftarrows CO^2 + C$. La loi de M. Le Chatelier est la suivante.

Prenons un système en équilibre stable à une température donnée et sous une pression donnée; sans changer la température, diminuons *la pression d'une petite quantité; en général l'équilibre est rompu; le système sera le siège d'une réaction qui l'amènera à un nouvel état d'équilibre; si l'on supposait la même réaction produite, à partir de l'état d'équilibre primitif, sans changement de température ni de pression, elle serait accompagnée d'une* augmentation de volume *du système.*

Dans le cas actuel, la réaction qui, effectuée à température constante et sous pression constante, correspond à un accroissement de volume, est la réaction

$$2CO \leftarrow CO^2 + C.$$

Si donc, à température constante, on diminue la pression du gaz carbonique en contact avec le carbone, la proportion d'oxyde de carbone doit augmenter dans le système (anhydride carbonique, oxyde de carbone, charbon). C'est ce qui arrive lorsque, au lieu de mettre de l'anhydride carbonique pur sous la pression atmosphérique en contact avec du carbone à

[1] Pour l'exposé et l'application des théories de Gibbs et Hortsmann, voir :

P. Duhem, *Traité de mécanique chimique fondée sur la Thermodynamique*, t. II (Paris, Hermann); — P. Duhem. *Thermodynamique et Chimie*, p. 358 (Paris, Hermann, 1902).

La théorie de Gibbs suppose :

1° Que les solides et les liquides qui font partie du système étudié ne se mélangent pas entre eux et ne dissolvent pas les gaz;

2° Que le volume spécifique de chacun des corps solides ou liquides est négligeable par rapport aux volumes spécifiques des gaz que l'on considère;

3° Que la chaleur spécifique de chacun de ces corps solides ou liquides est sensiblement indépendante de la température;

4° Que les gaz que le système renferme sont à l'état parfait.

Or on sait combien la chaleur spécifique du carbone est variable avec la température. Aussi la théorie de Gibbs n'est-elle que grossièrement applicable au cas actuel.

Digitized by Google

une température déterminée, on met, à cette température, en contact avec le charbon, un mélange de gaz carbonique et d'azote sous la pression atmosphérique, de telle sorte que la pression partielle de l'anhydride carbonique soit inférieure à la pression atmosphérique.

Cette conséquence théorique a été vérifiée qualitativement par M. Boudouard.

6. Facteurs qui influent sur la transformation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone. — Les expériences de M. Boudouard donnent d'utiles renseignements sur les conditions dans lesquelles se produit la réaction

$$2CO \rightleftarrows CO^2 + C.$$

La composition du mélange gazeux ($CO^2 + CO$), qui convient à l'équilibre pour chaque température, semble ne pas dépendre de la nature du charbon.

Mais la vitesse avec laquelle l'équilibre est atteint, ou la *vitesse de réaction*, dépend :

1° De la *température*. Elle est beaucoup plus grande à 800°, où l'équilibre est pratiquement obtenu au bout de quelques minutes, qu'à 650°, où sa réalisation nécessite au moins six heures ;

2° De la *grandeur de la surface de contact entre l'élément gazeux et le charbon.*

L'équilibre est atteint d'autant plus rapidement que les morceaux de charbon sont de dimensions plus faibles ou que le charbon est plus poreux.

Dans la production industrielle du gaz à l'air, les conditions dans lesquelles sont produites les expériences de laboratoire que nous venons d'analyser ne sont pas réalisées. Mais les résultats de ces expériences permettent de préciser les conditions optima de la préparation industrielle.

7. Influence de la vitesse du courant d'air dans la production industrielle du gaz à l'air. — *Le gaz à l'air est obtenu en faisant passer de l'air au travers d'une couche de coke porté au rouge.* Au voisinage de la grille, le carbone brûle en donnant surtout de l'anhydride carbonique ; ce gaz se décompose en passant sur le charbon au rouge et donne de l'oxyde de carbone qui se dégage à la partie supérieure.

Il résulte des expériences précédentes que *la formation de l'oxyde de carbone dépend de la vitesse du courant gazeux.*

Si cette vitesse est trop considérable, le gaz carbonique peut traverser la couche de carbone au rouge sans subir de décomposition appréciable ; *cette influence de la vitesse de circulation de l'air est d'ailleurs d'autant moins marquée que la température du charbon est plus élevée.*

M. Boudouard a vérifié ces faits en faisant circuler de l'air à différentes vitesses sur une colonne de coke dont les morceaux ont un diamètre de 5 millimètres environ, qui a une longueur de 27 centimètres et un diamètre de 3 centimètres. A la température de 800° C., les résultats obtenus ont été les suivants.

COMPOSITION DU GAZ à la sortie DE LA COLONNE DE COKE	VITESSES PAR MINUTE DE				
	0lit,100	0lit,270	1lit,300	1lit,465	3lit,200
pour 100	pour 100	pour 100	pour 100	pour 100	pour 100
CO^2	18,2	18,43	18,92	19,9	19,4
CO	5,2	3,8	1,88	1,83	0,93

Digitized by Google

Une expérience faite à 950°, avec une vitesse de $3^{lit},200$ par minute, a donné :

	Pour 100
CO^2	18
CO	5,6

8. Influence de la température du combustible sur la production du gaz à l'air. — *Pour une même vitesse de circulation des gaz, la teneur du gaz à l'air en oxyde de carbone sera d'autant plus grande que la couche de combustible traversée sera à une température plus élevée.* Comme nous l'avons vu, la transformation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone n'est complète qu'aux environs de 1.000° C. ; or, cette température n'est jamais atteinte dans les gazogènes. Le gaz à l'air contient donc toujours de l'anhydride carbonique et de l'oxyde de carbone; ce dernier gaz est toujours en quantité inférieure à celle que nous avons indiquée plus haut comme caractérisant l'état d'équilibre du système ($CO^2 + CO + C$) à diverses températures. En effet, dans les gazogènes, la durée du contact du gaz carbonique avec le charbon porté à haute température est beaucoup plus petite que celle qui est nécessaire pour atteindre l'équilibre. De plus, l'anhydride carbonique est mélangé à de l'azote; dans ce cas, comme l'a montré directement M. Boudouard, l'état d'équilibre entre les deux gaz CO^2 et CO est plus long à s'établir qu'avec le gaz carbonique pur en présence du charbon.

9. Influence de la grandeur de la surface de contact sur la production du gaz à l'air. — *La grandeur de la surface de contact entre l'anhydride carbonique et le charbon incandescent a aussi une grande influence sur la teneur en oxyde de carbone du gaz à l'air.* Aussi, pour avoir un gaz riche en oxyde de carbone, importe-t-il que les morceaux de charbon ne soient pas gros ; que le charbon employé ne soit pas trop dur ou qu'il soit suffisamment poreux; que l'épaisseur du combustible traversé soit assez considérable.

10. Conditions optima de la production industrielle du gaz à l'air. — Les considérations que nous venons de développer montrent que la réaction

$$CO^2 + C = 2CO$$

est fonction de plusieurs facteurs importants et que les meilleures conditions dans lesquelles on doit se placer pour arriver à des résultats pratiques sont les suivantes :

1° *Température du combustible aussi élevée que possible;*

2° *Grande porosité du combustible;*

3° *Emploi du combustible en morceaux suffisamment petits et sous une épaisseur suffisante;*

4° *Courant gazeux avec vitesse minima.*

11. Présence de l'hydrogène dans le gaz à l'air. — Dans ce qui précède, nous avons supposé que le gaz à l'air était obtenu par le passage de l'air sur du carbone chauffé au rouge. En réalité, le carbone se trouve en présence de vapeur d'eau qu'il décompose, comme nous le verrons plus loin, en donnant de l'hydrogène. En effet, pour protéger la grille du gazogène, il convient d'envoyer de l'eau dans le cendrier de façon à refroidir celui-ci; la vaporisation de l'eau par le rayonnement et le contact des scories tombant dans le cendrier mélange à l'air introduit de la vapeur qui, venant au contact du charbon incandescent, donne de l'hydrogène,

Digitized by Google

Le gaz à l'air, produit dans les gazogènes, contient donc une petite quantité d'hydrogène.

Dans l'industrie, on se sert soit de coke, soit de charbon ordinaire.

Or, dans les parties où il n'est pas porté au rouge, ce charbon distille et donne des carbures volatils.

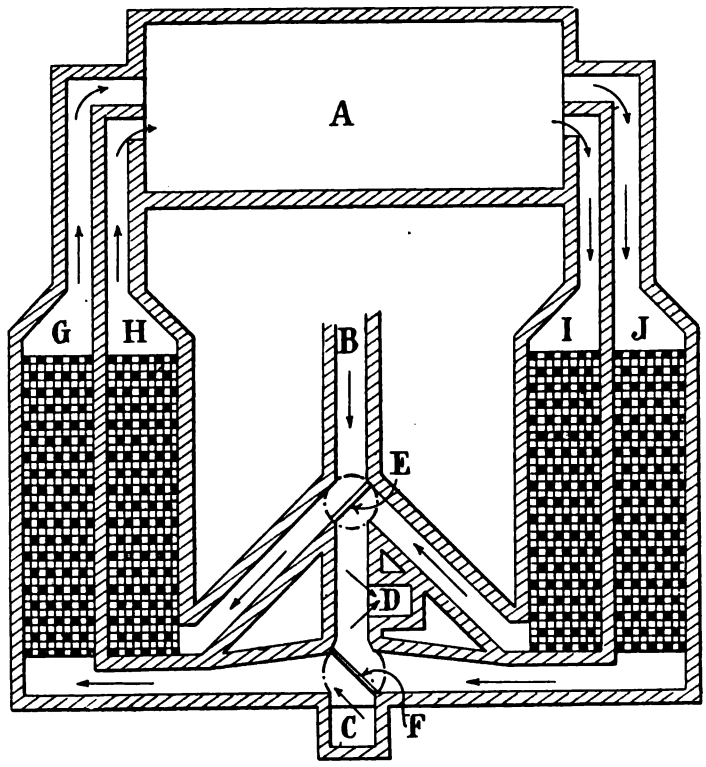


Fig. 1. — Schéma d'un récupérateur.

A, Four; — B, Arrivée du gaz venant du gazogène; — C, Arrivée d'air; — D, Cheminée; — E, F, Valves rotatives; — G, J, Chambres pour le chauffage de l'air; — H, I, Chambres pour le chauffage du gaz.

Dans le cas de la figure, les chambres G et H, chauffées dans une opération précédente par les produits de la combustion, servent au chauffage de l'air et du gaz ; les chambres I et J sont échauffées par les produits de la combustion.

(Remarquer la disposition des briques dans les chambres G, H, I, J ; pas de canaux réguliers, mais des chicanes obligeant le gaz à circuler en zigzag.)

12. Emploi du gaz à l'air dans l'industrie. — Le gaz à l'air est employé dans l'industrie pour le *chauffage des fours*, notamment dans les *usines à gaz, en céramique et en verrerie*. La houille ou le coke est transformé en gaz à l'air dans un gazogène par le passage d'un courant d'air, dit *air primaire*, arrivant sous la grille et traversant la masse du combustible portée à l'incandescence. Ce gaz à l'air porté à une température élevée (800° environ) est amené dans les fours où il rencontre de l'air préalablement chauffé à une température de 800° (*air secondaire*). La combustion très vive du gaz à l'air donne des températures élevées. Le chauffage de l'air est obtenu au moyen de la chaleur dégagée par les produits de la combustion. *C'est le principe de la récupération*. On fait passer les fumées dans des chambres remplies de matières réfractaires ; lorsque ces matières sont suffisamment échauffées, on cesse de faire passer les fumées, qu'on envoie dans une deuxième chambre, en les remplaçant par de l'air froid qui s'échauffe. Au bout d'un certain temps, on renverse la marche. Les figures 1 et 2 sont des schémas de ces récupérateurs.

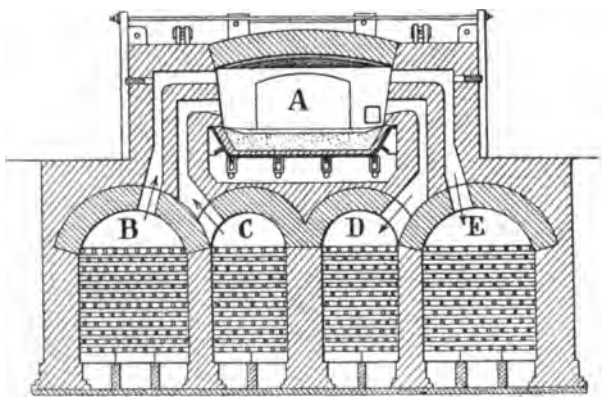


Fig. 2. — Four à gaz Siemens avec récupérateurs.

A, Four; — B, C, D, E, Récupérateurs ou chambres remplies de matières réfractaires.

Nota. — Sur la figure ci-dessus, l'air et le gaz à l'air arrivent au four par les chambres B et C ; les gaz brûlés sortent du four par les chambres D et E. Des vannes permettent de renverser le sens de la marche des produits gazeux.

13. Gazogène Siemens. — Les gazogènes (1) dans lesquels on produit le

(1) Nous empruntons la description de ce gazogène à l'excellent ouvrage de M. Deschamps, *les Gazogènes*, p. 137 (Paris, Dunod, 1902).

Digitized by Google

gaz à l'air sont généralement du type Siemens. La figure 3 représente l'un de ces gazogènes.

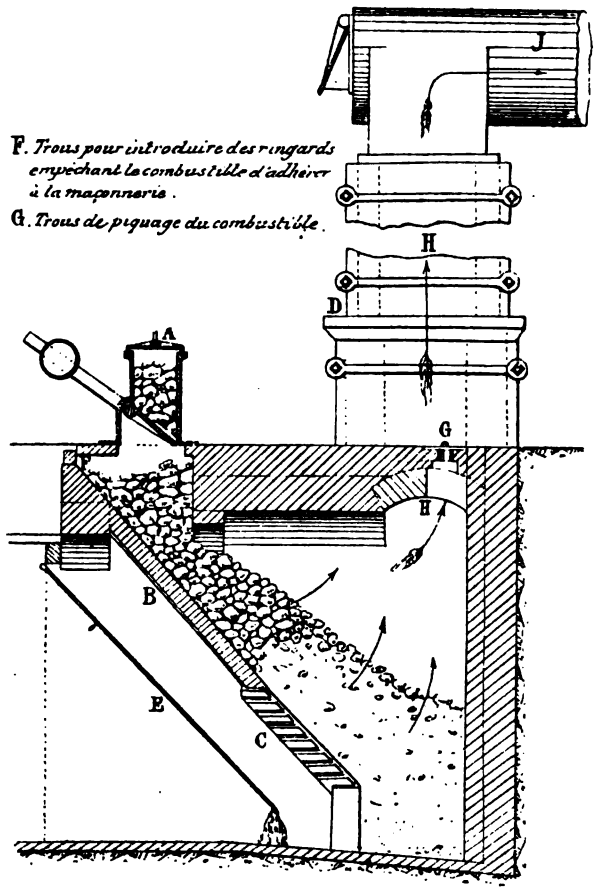


Fig. 3. — Schéma d'un gazogène Siemens.

Il se compose essentiellement d'une chambre en maçonnerie bien protégée contre les pertes de chaleur, où le combustible, versé par une trémie étanche A, s'étend sur une paroi B dont l'inclinaison est en moyenne de 45° et qui se termine, à sa partie inférieure, par une grille C dont les barreaux sont horizontaux (cas de la figure) ou suivent la ligne de plus grande pente. Le combustible, maintenu d'autre part entre trois parois verticales, s'étend sur une couche d'une épaisseur légèrement croissante de haut en bas, parce que l'inclinaison de la paroi B est, en général, plus grande que la pente naturelle de chute du combustible. Celui-ci brûle au contact de l'air qui entre sous la grille. Les cendres et les scories s'accumulent au-dessous de cette grille, directement sur le sol de la fosse dans laquelle le gazogène est installé; souvent elles sont maintenues sur une grille horizontale.

Le gaz à l'air est entraîné par la cheminée H et les conduites J, le plus souvent grâce à l'appel d'une cheminée, quelquefois par celui d'un exhausteur.

Pour éviter que la température ne soit trop élevée autour de la grille et surtout pour que celle-ci ne vienne pas à brûler, on envoie au moyen d'une conduite E un jet d'eau sur le sol de la fosse auprès des grilles [1].

Grâce à la disposition inclinée de la paroi B, grâce à la forme du gazogène et de sa grille inférieure, l'air tend non à suivre la paroi B, mais à traverser le combustible dans sa plus grande épaisseur normalement à cette paroi; nous avons vu que c'est là une des conditions optima d'obtention du gaz à l'air.

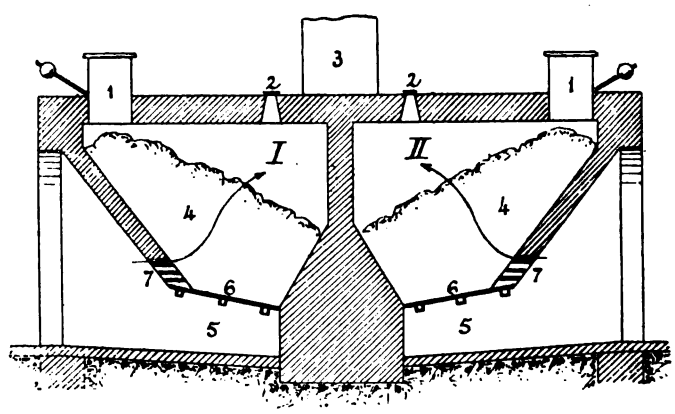


Fig. 4. — Générateurs Siemens en batterie.
1, Trémies de chargement; — 2, Trous de piquage; — 3, Sortie des gaz; — 4, Tas de charbon; — 5, Cendrier; — 6, Grille inclinée; — 7, Grille à gradins.

Dans ce gazogène, le charbon, progressivement échauffé, peut distiller, gonfler; quand il se présente devant la grille, il doit être réduit à l'état de coke. Si

[1] Voir dans l'ouvrage de M. Deschamps (p. 140) la manière de décrasser un gazogène Siemens.

Digitized by Google

les morceaux se sont soudés, il est facile d'introduire des ringards au travers des barreaux de la grille et de briser ainsi les cokes formés.

Aussi le gazogène Siemens se prête-t-il bien à l'emploi des charbons qui peuvent gonfler, des tout-venants et des fines grasses ou demi-grasses. Grâce à cette propriété, à sa grande simplicité et à sa robustesse, le gazogène Siemens est très employé dans l'industrie.

Toutefois son emploi nécessite une construction spéciale pour éviter divers inconvénients.

En premier lieu, il y a de grandes pertes de chaleur, soit par la paroi verticale, soit par les parois latérales. On remédie à ces inconvénients, soit en mettant les gazogènes en batterie les uns à côté des autres, comme le montrent les figures 4 et 5; soit en construisant un gazogène à deux parois inclinées et opposées, comme le montre la figure 6.

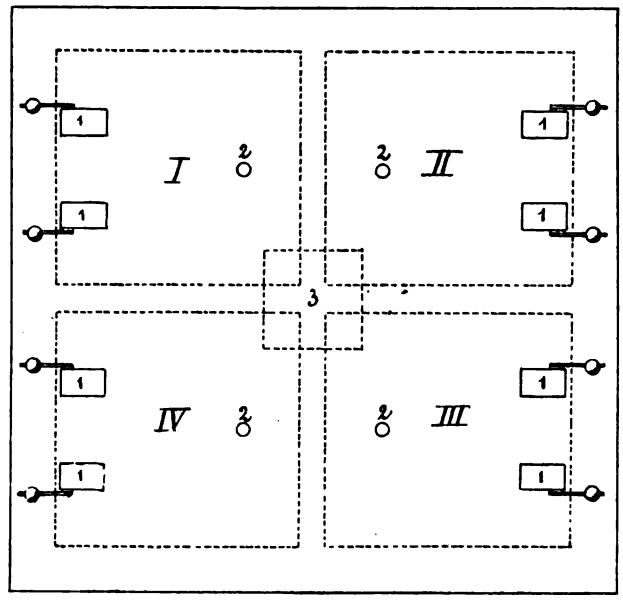


Fig. 5. — Générateurs Siemens en batterie.
1, Trémies de chargement; — 2, Trous de piquage; — 3, Sortie des gaz.

En second lieu, le gaz peut entraîner des poussières du combustible et des cendres dont le dépôt dans les conduites peut obstruer complètement celles-ci. On remédie à cet inconvénient en faisant sortir les gaz du gazogène par une cheminée verticale H aussi haute que possible.

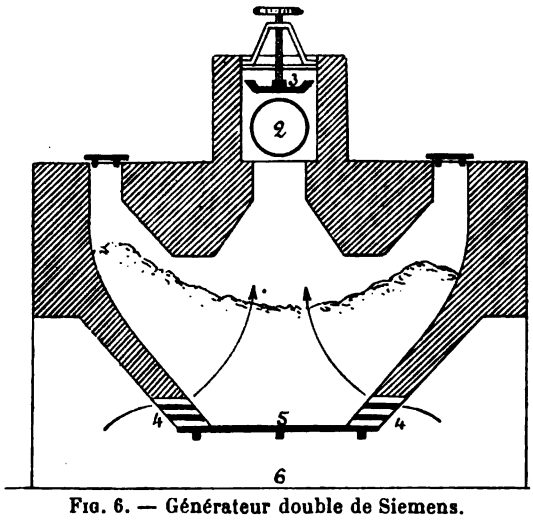


Fig. 6. — Générateur double de Siemens.
1, Tas de charbon; — 2, Conduite de gaz; — 3, Soupape; 4, Grilles à gradins; — 5, Grille; — 6, Cendrier.

Enfin, le gaz peut entraîner les produits de distillation de la houille qui donnent naissance à des goudrons susceptibles non seulement d'encombrer les conduites, mais de se décomposer à leur contact par suite de leur température élevée, et de donner des dépôts de carbone faisant corps avec les parois de ces conduites et difficiles à éliminer (1).

14. Gazogène Lencauchez. — M. Lencauchez a justement profité de cette décomposition des produits carburés volatils à haute température pour réaliser leur élimination. L'un des gazogènes construits dans ce but est représenté sur la figure 7 (2).

Ce gazogène est à quatre gueulards H et H'; par les deux premiers H, on charge de la houille; par les deux autres H', on charge du petit coke ordinaire d'usine à gaz ou autre.

(1) Les gazogènes sont placés le plus près possible des fours, afin que les gaz combustibles arrivent au contact de l'air secondaire à la plus haute température possible.

(2) Lencauchez, *les Gaz combustibles et les Moteurs à gaz* (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 4e série, t. IV, 1re livraison, 1905).

Digitized by Google

La houille est chargée en H avant le coke K, qui se met toujours après et en couverture; les gaz, vapeurs carburées et suie sont donc forcés de traverser le filtre de coke K pour s'échapper du gazogène; par cette filtration au travers d'une substance maintenue à la température de 700° à 800° en moyenne, les carbures d'hydrogène sont décomposés. Si on ouvre les trous de piquage *o* et *p*, les gaz qui s'en échappent sont noirs et très foncés, comme la fumée noire la plus épaisse que l'on puisse voir; mais les gaz qui sortent par les trous de visite *q* sont incolores : la destruction du goudron a été complète [1].

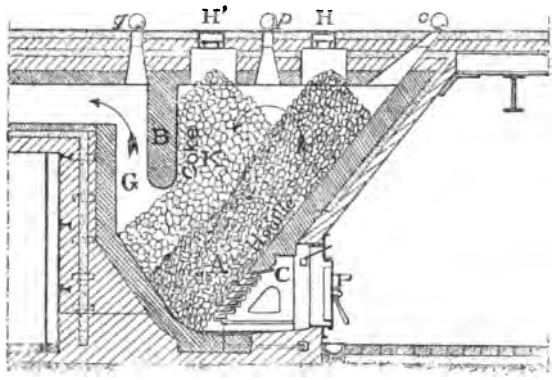


Fig. 7. — Gazogène Lencauchez.

De tels gazogènes, au nombre de quatre, ont été installés par M. Lencauchez, en 1877, pour fournir des gaz épurés à sec à deux fours à réchauffer pour les laminoirs à tubes des Aciéries et Forges de la Société d'Escaut-et-Meuse à Anzin. Ces gazogènes marchent aux houilles flénues, à longues flammes, à 32 0/0 environ de matières volatiles, et au petit coke de four ou de cornue à gaz d'éclairage; la dépense est de 75 à 80 0/0 de houille pour 20 à 25 0/0 de coke.

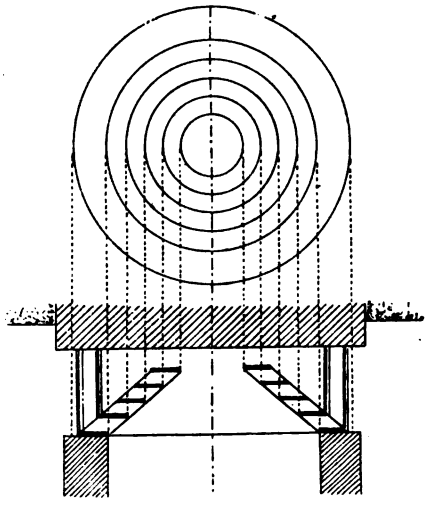


Fig. 8. — Grille en entonnoir.

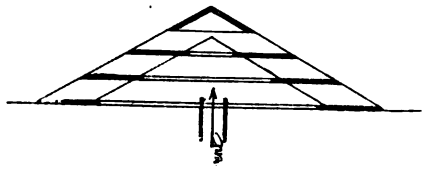


Fig. 9. — Grille conique.

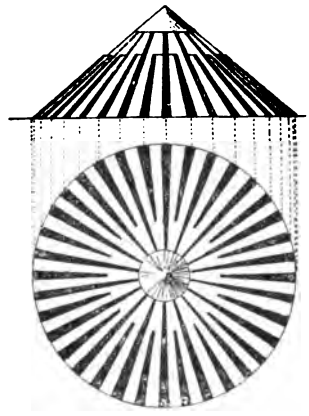


Fig. 10. — Grille conique.

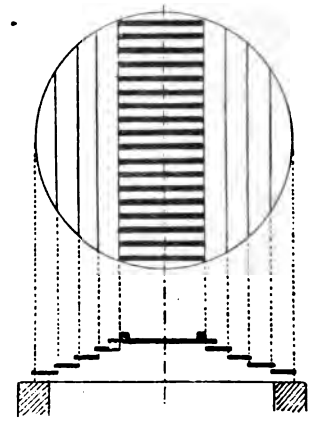


Fig. 11. — Grille à gradins portant une partie plane.

15. Sur quelques formes de grilles employées dans ces gazogènes. — Les grilles planes conviennent surtout aux combustibles en gros morceaux; pour les menus, on se sert avec avantage des grilles à gradins que nous rencontrons dans les gazogènes Siemens (*fig.* 3, 4, 6) et dans le gazogène Lencauchez (*fig.* 7).

Souvent on emploie aussi des grilles en forme d'entonnoir (*fig.* 8), ou des grilles coniques (*fig.* 9 et 10). La combinaison de deux grilles à gradins avec une grille plane (*fig.* 11) est moins à recommander.

[1] Il convient de remarquer que ce gazogène est à cendrier fermé C par une porte P: on évite ainsi les pertes de chaleur par la grille. Ce cendrier est arrosé par une pluie d'eau réglée automatiquement de façon à empêcher le trop grand échauffement de la grille malgré la fermeture de la porte. Le gaz obtenu ainsi est plus riche à cause de la présence de l'hydrogène.

Digitized by Google

Pour l'utilisation des menus, Von Lichtenfeld a combiné une sorte de grille plane représentée sur la figure 12. Si on laisse fixes les barreaux de grille 1, 3, 5, et si on fait tourner lentement les barreaux 2 et 4 dans une direction normale au plan de la figure, on réduit au minimum le travail du décrassage de la grille et on facilite l'évacuation des cendres.

Fig. 12. — Grille von Lichtenfeld.

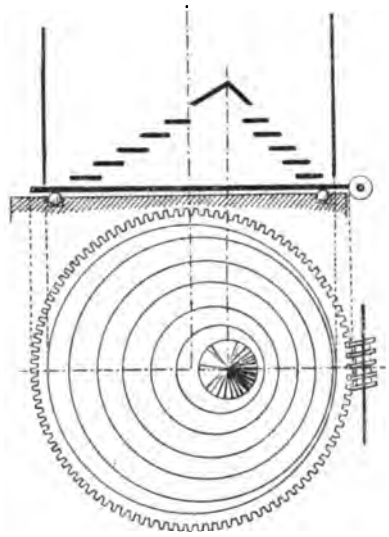


Fig. 13. — Grille conique à rotation excentrique.

Des grilles coniques rotatives (*fig.* 13) peuvent être utilisées dans le même but [1].

[1] Hanns von Jüptner, *Lehrbuch der chemischen Technologie der Energien ;* t. I, *Die chemische Technologie de Wärme und der Brennmaterialen ;* 1re partie, *Wärmemessung, Verbrennung und Brennmaterialen*, p. 330 à 338 (Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1905).

Digitized by Google

CHAPITRE II

LES GAZOGÈNES. - LE GAZ A L'EAU

1. Définition du gaz à l'eau. — Le *gaz à l'eau* est celui que l'on obtient en faisant passer de la vapeur d'eau sur du charbon au rouge.

Il est composé en majeure partie d'anhydride carbonique, d'oxyde de carbone et d'hydrogène. La formule de la réaction est

$$2C + 3H^2O = CO^2 + CO + 3H^2 + [97.650 + 29.450 - (3 \times 58.100)]$$
$$2C + 3H^2O = CO^2 + CO + 3H^2 - 47.200.$$

Cette réaction est nettement endothermique.

2. Conditions optima de la production du gaz à l'eau. — Pour réaliser cette réaction, il faut que le charbon soit préalablement porté à haute température. Nous retrouvons ici les conditions optima que nous avons indiquées pour la production du gaz à l'air.

Le gaz est d'autant plus riche en oxyde de carbone et en hydrogène que le courant de vapeur d'eau est plus lent et que la température est plus élevée. Dans ces conditions, il reste en effet moins de vapeur d'eau non décomposée et, d'autre part, l'anhydride carbonique est plus complètement transformé en oxyde de carbone.

Pour les mêmes raisons, il y a aussi intérêt à *augmenter la porosité du combustible et à l'employer en morceaux d'une grosseur convenable.*

De plus, pour avoir un gaz combustible aussi exempt que possible de produits de distillation de la houille et d'hydrogène sulfuré, il convient d'employer comme combustible du *coke contenant peu de soufre*. En fait, on se sert en Amérique d'*anthracite* qui s'y trouve à bas prix, et en Europe de *coke*.

3. Composition moyenne du gaz à l'eau. — La composition moyenne du gaz à l'eau est comprise dans les limites suivantes.

	Pour 100
Hydrogène	46 à 53
Oxyde de carbone	35 à 43
Anhydride carbonique	2 à 6
Azote	3 à 5
Méthane, hydrogène sulfuré	0,5 à 1,5

Il y a donc dans ce gaz à peu près 90 0/0 de produits combustibles.

Digitized by Google

On estime généralement que le *pouvoir calorifique inférieur* (1) *de ce gaz* est, en moyenne, de 2.500 *calories*.

La grande proportion de gaz réducteurs existant dans le gaz à l'eau et le grand dégagement de chaleur produit dans sa combustion justifient l'emploi de ce gaz dans les cas où dans l'industrie on a besoin soit d'une flamme à température élevée, comme dans l'éclairage par manchons à l'incandescence, soit d'une flamme réductrice très chaude, comme dans la soudure autogène.

4. Principe de la production du gaz à l'eau. — La production du gaz à l'eau se fait actuellement en deux périodes.

Première période : *On insuffle de l'air sur du charbon de manière à produire une combustion susceptible d'amener au rouge toute la masse.*

Deuxième période : *Après avoir porté le combustible au rouge, on fait passer au travers de la masse incandescente le courant de vapeur d'eau.*

Lorsque le combustible n'est plus à une température suffisamment élevée, on recommence de nouveau le soufflage de l'air.

Les procédés de fabrication du gaz à l'eau, quels qu'ils soient, sont donc à *marche intermittente* et comprennent une *période transitoire de soufflage* et une *période de décomposition de vapeur ;* cette dernière est la seule pendant laquelle se produit le gaz à l'eau.

5. Divers procédés de soufflage à l'air pour le chauffage du charbon. — Le soufflage pour le chauffage du charbon peut se faire de deux manières bien différentes.

1° *L'incandescence du combustible est obtenue par insufflation d'air limitée ;* on produit donc dans ce cas du *gaz à l'air* dont la combustion est utilisée pour la surchauffe de la vapeur ou pour la distillation des huiles de carburation, en vue de rendre le gaz éclairant (procédés *Lowe*, *Loomis*, *Humphreys-Glasgow*, *Strache*).

2° *Le soufflage d'air est fait dans des proportions qui permettent la combustion complète du combustible ;* les gaz qui s'échappent sont formés presque entièrement d'*anhydride carbonique* avec une proportion très minime d'oxyde de carbone. C'est le procédé *Dellwik-Fleischer*.

6. Procédé Strache. — L'appareil Strache (2) (*fig.* 14) se compose essentiellement d'une *cuve*, où le combustible est déposé sur une grande épaisseur, et d'un *surchauffeur*, où se fait la combustion du gaz à l'air.

Dans la cuve g_1g_2, on admet que le combustible est réduit à l'état de coke dans la zone basse g_1. Aussi, quand on souffle l'air, fait-on sortir les produits par le carneau o_1, sans leur faire traverser les couches supérieures du charbon, qui peut être insuffisamment distillé. Une vanne-piston r et une soupape s règlent le passage du gaz à l'air ; quand elles sont ouvertes, elles lui permettent d'aboutir au surchauffeur r_1r_2, où l'air secondaire arrive par l'ouverture réglable k. Le gaz brûle de haut en bas, porte les matières réfractaires contenues dans la chambre r_1r_2 à une très haute température, échauffe ensuite la seconde chambre c_1c_2 et s'échappe en A.

Supposons que l'on veuille avec cet appareil faire du gaz à l'eau pur ou carburé à

(1) Rappelons que l'on appelle *pouvoir calorifique inférieur d'un gaz combustible pris à une température donnée et brûlant dans une masse d'air nécessaire et suffisante pour produire la combustion complète*, le nombre de calories-kilogrammes dégagées par mètre cube de gaz mesuré à 0° C. et sous une pression de 10.333 kilogrammes par mètre carré, la vapeur d'eau produite dans la combustion étant supposée non condensée.

(2) Les figures 14 et 15 sont empruntées à l'ouvrage de M. Deschamps sur *les Gazogènes* (p. 118).

Digitized by Google

froid. — On introduit la vapeur en D. Celle-ci franchit en sens contraire c_2c_1 et r_2r_1 où elle se surchauffe. Le piston r étant placé comme il est indiqué sur la figure 14, la vapeur entre en o dans le gazogène.

Comme, dans l'intervalle, on a chargé du combustible frais par la trémie T dans la partie haute g_2 du gazogène, la vapeur aide à la distillation de ce combustible et traverse le coke de haut en bas en g_1. Il se produit du gaz à l'eau qui sort en b pour aboutir aux appareils d'épuration et au gazomètre.

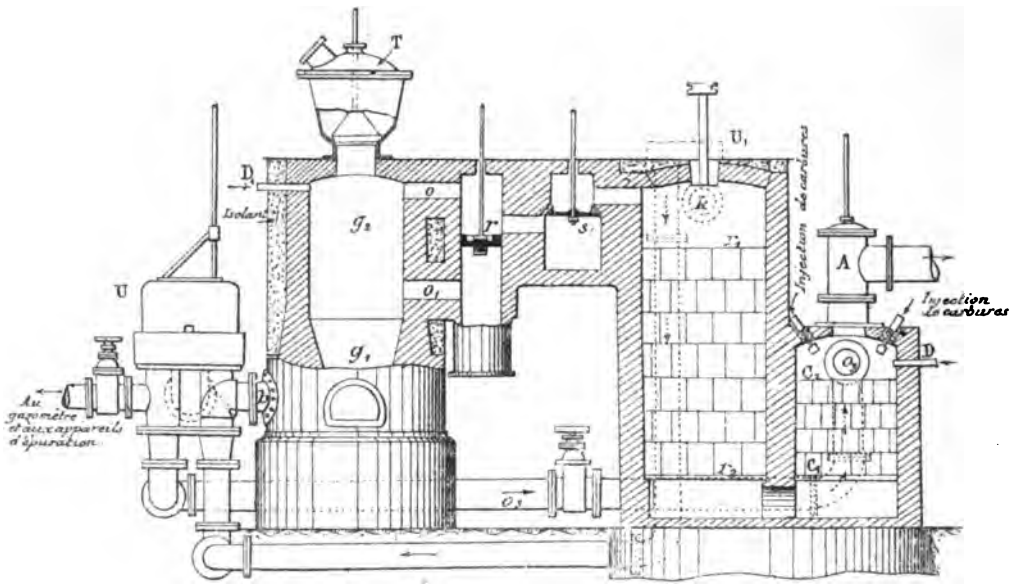


FIG. 14. — Gazogène Strache. Coupe du gazogène et des surchauffeurs.
g_1g_2, Cuve; — r_1r_2, c_1c_2, Surchauffeurs; — D, Introduction de la vapeur d'eau quand on produit du gaz à l'eau pur ou carburé à froid; — D_1, Introduction de la vapeur d'eau quand on produit du gaz à l'eau carburé à chaud.

Si, au contraire, on veut faire du gaz à l'eau carburé à chaud, on introduit la vapeur d'eau en D_1. La communication étant fermée entre g_1g_2 et r_1r_2, la vapeur d'eau traverse le combustible incandescent et donne du gaz à l'eau qui, sortant par b, est envoyé par la conduite o_3 dans le surchauffeur c_1c_2 ; là les carbures sont injectés au haut de la cuve, comme l'indique la figure. Le mélange de gaz et d'huile franchit ensuite le surchauffeur chauffé à blanc r_2r_1, pour sortir en k par la vanne U_1, être conduit à la vanne U et de là au gazomètre (1).

Avant d'arriver au gazomètre, le gaz traverse une série d'épurateurs qui lui enlèvent les *poussières*, les *goudrons*, l'*hydrogène sulfuré* et le *fer-carbonyle*, produit de l'action de l'oxyde de carbone sur le fer des conduites. Ce dernier, en se décomposant dans les manchons Auer, les détériorerait (2).

L'ensemble d'une telle installation est visible sur la figure 15.

Comme nous venons de le voir, dans le gazogène Strache, la vapeur d'eau circule toujours dans le combustible de haut en bas. Grâce à cette disposition, le gaz ne peut pas

(1) Voir, dans l'ouvrage de M. DESCHAMPS sur *les Gazogènes*, la description et le dessin de la vanne U (p. 120).

(2) Le fer-carbonyle est un liquide jaune de formule $Fe(CO)^5$, bouillant à 102°,8. Il a été découvert, en 1891, par Mond et Quincke. L'acide sulfurique concentré agit sur ce composé en donnant du sulfate ferreux avec mise en liberté d'oxyde de carbone et d'hydrogène. Aussi convient-il de faire passer le gaz à l'eau au travers d'acide sulfurique concentré avant de l'employer dans les manchons Auer qu'il détruirait en donnant un dépôt d'oxyde de fer (Voir *Bulletin de la Société d'Encouragement à l'Industrie nationale*, t. CVII, 31 décembre 1905, n° 10, p. 1490).

Digitized by Google

entraîner de produits de distillation sans que ceux-ci aient dû traverser la zone du coke rouge.

Aussi peut-on employer, dans le gazogène Strache, d'autres combustibles que le coke. Il faut toutefois éviter les charbons collants, qui formeraient des voûtes, ne descendraient pas dans la cuve et empêcheraient le soufflage de l'air et de la vapeur d'eau.

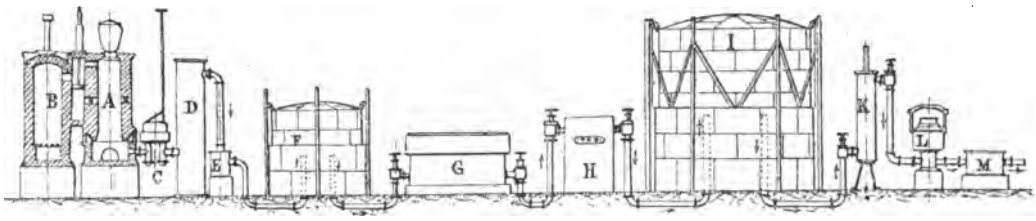


FIG. 15. — Ensemble d'une installation de gaz à l'eau Strache.

A, Gazogène; — B, Surchauffeur; — C, Valve commutatrice; — D, Scrubber; — E, Séparateur de goudrons; — F, Petit gazomètre régulateur; — G, Épurateur; — H, Compteur de fabrication; — I, Gazomètre; — K, Déshydrateur; — L, Régulateur d'émission; — M, Odorisateur pour déceler la présence du gaz à l'eau.

7. Autres gazogènes donnant les uns du gaz à l'eau pur ou carburé à froid, les autres du gaz à l'eau carburé à chaud. — Un grand nombre de gazogènes du type auquel appartient le gazogène Strache ont été proposés. On en trouvera la description dans l'ouvrage de M. Deschamps sur *les Gazogènes* (chap. VII, *les Gazogènes dits de gaz à l'eau*).

Le gazogène Strache est un perfectionnement des gazogènes *Strong* (gaz à l'eau non carburé ou carburé à froid) et *Lowe* (1) (gaz à l'eau carburé à chaud). Dans le gazogène *Goodyear*, qui est lui-même un gazogène Strong perfectionné, on utilise les chaleurs perdues par le gaz à l'eau qui quitte l'appareil. Le gazogène *Humphreys et Glasgow*, qui est très répandu, est un gazogène qui permet la carburation à chaud du gaz à l'eau comme les gazogènes Lowe et Strache.

8. Gazogène Dellwik-Fleischer. — Contrairement à ce qui arrive dans l'appareil Strache, on s'efforce de ne produire, avec celui de *Dellwik-Fleischer*, que du gaz à l'eau sans gaz d'air. Dellwik cherche à éviter dans son gazogène la production, pendant la période de soufflage, de l'oxyde de carbone déversé en pure perte dans l'atmosphère, et à obtenir

(1) H. SOSPISIO, *Gaz à l'eau carburé; son emploi dans les usines à gaz de houille* (Congrès international de l'Industrie du Gaz, Paris, 1900, p. 442).

La composition moyenne du gaz à l'eau carburé, produit dans les appareils *Lowe*, *Humphreys-Glasgow*, *Merrifield-Westcotte* en employant pour la carburation de l'huile solaire (résidu de la distillation du pétrole, ayant pour densité 0,850 à 0,960), est la suivante.

	Pour 100
Hydrogène (H)	40
Gaz des marais (CH^4)	17
Hydrocarbures lourds (C^nH^{2n})	9
Oxyde de carbone (CO)	29
Oxygène et Azote (O + Az)	5
	100

Pour produire 1.000 mètres cubes de gaz à l'eau d'un pouvoir éclairant de 16 bougies, il faut environ 400 kilogrammes d'huile; pour augmenter le pouvoir éclairant d'une bougie, entre 16 et 19 bougies, il faut 400 kilogrammes d'huile pour 1.000 mètres cubes de gaz. Le coke nécessaire à la production de 1.000 mètres cubes de gaz a un poids de 1.000 kilogrammes 700 kilogrammes pour le générateur), ou de 700 kilogrammes si on chauffe la chaudière productrice de la vapeur avec le goudron qu'on obtient dans la fabrication du gaz à l'eau et avec les résidus du générateur. — Il faut $2^{kg},5$ à 3 kilogrammes de matières épurantes pour 1.000 mètres cubes de gaz produit. — La main-d'œuvre nécessaire pour vingt-quatre heures à une batterie de gaz à l'eau carburé capable de fabriquer 35.000 mètres cubes (épuration exclue) est de 6 à 7 hommes par équipe, y compris le service des machines et des chaudières. L'espace occupé par une usine pour produire 35.000 mètres cubes de gaz carburé (y compris l'épuration, mais sans gazomètre) est de 500 mètres carrés.

Digitized by Google

la transformation complète du carbone en anhydride carbonique. Ce qui caractérise ce gazogène, c'est que *la couche de charbon n'est pas très épaisse et est disposée de manière qu'un excédent d'air puisse la traverser*. A cet effet, on dispose au bas du gazogène l'arrivée d'air d'une soufflerie et l'on alimente le gazogène uniquement avec du coke, *en assez gros morceaux* (de la grosseur du poing au moins), de façon à diminuer autant que possible le contact entre le gaz carbonique formé et le coke incandescent, et par suite à rendre très faible la réduction de cet anhydride carbonique en oxyde de carbone.

Le gazogène Dellwik-Fleischer (*fig.* 16) se compose d'un générateur en fer revêtu intérieurement de matière réfractaire et pourvu de deux trémies de chargement; l'alimentation

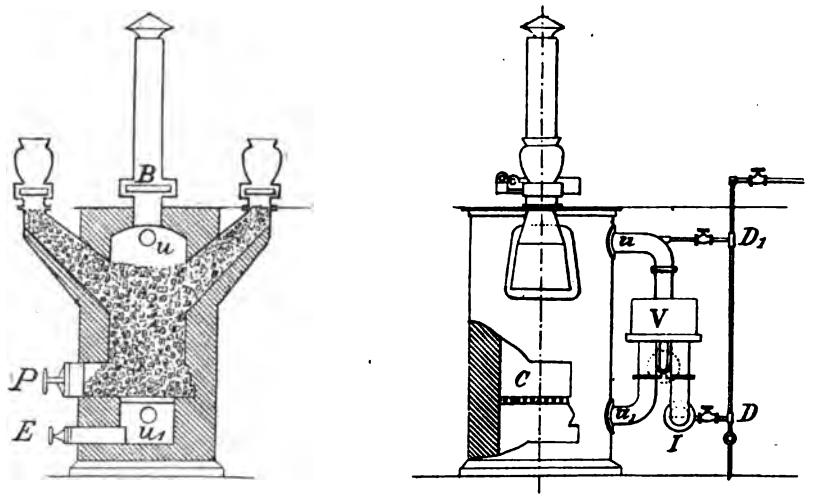


Fig. 16. — Gazogène Dellwik-Fleischer.

peut ainsi se faire alternativement des deux côtés et la hauteur du combustible dans le gazogène ne subit aucune variation; la vitesse du courant gazeux est ainsi rendue constante.

Le générateur est muni d'une vanne B commandant la cheminée d'évacuation des produits de la combustion; d'une grille C; de deux portes P et E pour enlever le mâchefer et les cendres; de deux conduites u_1 et u et de la vanne V pour la sortie du gaz à l'eau produit; de deux tuyaux d'adduction de vapeur D et D_1; enfin, d'un tuyau muni d'une soupape pour le soufflage de l'air nécessaire au chauffage. L'appareil fonctionne de la manière suivante.

Quand on a porté à l'incandescence le coke qui se trouve dans le générateur, on injecte dans la partie inférieure la vapeur d'eau par le tuyau D et l'on recueille par le tuyau u le gaz à l'eau produit. Lorsque la température s'est quelque peu abaissée dans la partie inférieure du gazogène, on intervertit l'injection de la vapeur en l'introduisant par le tuyau D_1 à la partie supérieure du gazogène; le gaz produit sort par le tuyau u_1. Au sortir des tuyaux u et u_1, le gaz traverse la vanne V, puis sort par le tuyau I vers les appareils d'épuration et le gazomètre.

Quand ces deux périodes d'injection de vapeur sont terminées, on ferme l'accès de la vapeur ainsi que la vanne V; on ouvre la vanne B et l'on envoie l'air pour le chauffage du générateur.

La période de soufflage à l'air dure *deux minutes* environ et celle de la production du gaz à l'eau de *huit à dix minutes*.

Digitized by Google

La composition moyenne du gaz à l'eau produit dans l'appareil Dellwik est la suivante.

	Pour 100
Hydrogène	50,80
Oxyde de carbone	39,65
Anhydride carbonique	4,65
Oxygène	0,20
Azote	3,83
Méthane et hydrocarbures lourds	0,87

Avec l'appareil Dellwik-Fleischer, on peut obtenir environ 2.480 litres de gaz à l'eau par chaque kilogramme de carbone employé : il faut donc 400 grammes de coke par mètre cube de gaz produit. On compte une dépense supplémentaire de 100 grammes de coke pour engendrer la vapeur et faire mouvoir les compresseurs d'air. Si on admet pour le gaz à l'eau un pouvoir calorifique inférieur de 2.500 calories par mètre cube et pour le coke un pouvoir calorifique de 7.000 calories par kilogramme, on voit que le *rendement théorique* de ce gazogène est

$$\frac{2.500}{0,4 \times 7.000} = 0,89;$$

que le *rendement réel* est

$$\frac{2.500}{0,5 \times 7.000} = 0,714;$$

enfin que le *rendement générique* (rapport du rendement réel au rendement théorique) est

$$\frac{0,714}{0,890} = 0,80.$$

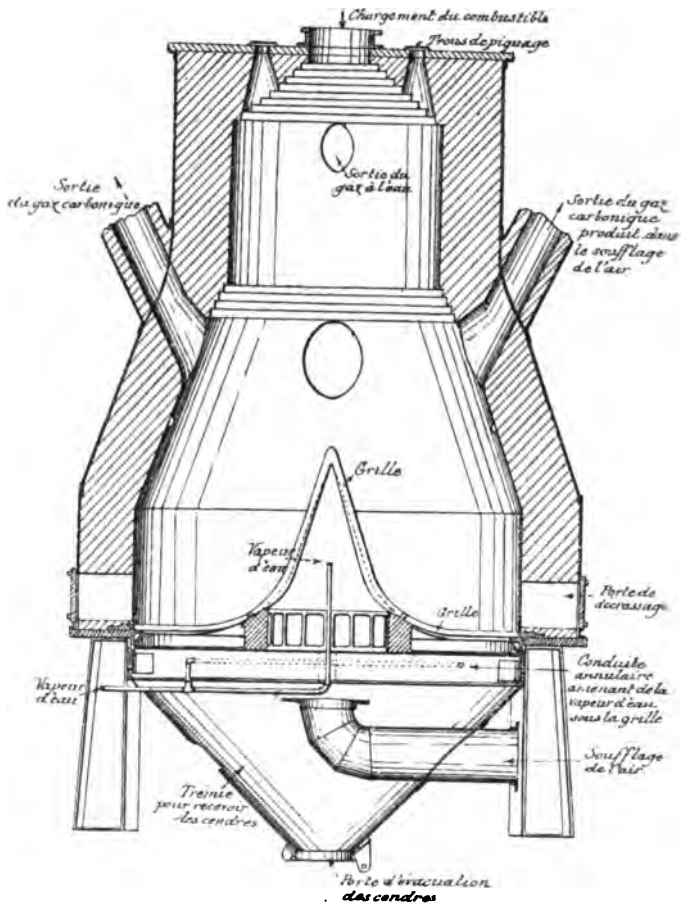


FIG. 17. — Gazogène Slocum.

9. **Gazogène Slocum.** — Le gazogène américain *Slocum* (*fig.* 17) est du type Dellwik-Fleischer, c'est-à-dire que l'on cherche à y faire une large admission d'air pour que la combustion y soit totale, qu'elle dure peu de temps, qu'elle élève assez fortement la température pour permettre des périodes assez longues de production de gaz à l'eau. Ce gazogène se distingue du précédent par sa forme en tronc de cône dont la base la plus large est la partie inférieure et par sa forme de grille qui, plate sur sa partie extérieure, se relève en pointe très aiguë dans la partie centrale. L'air, qu'elle laisse pénétrer, est alors distribué d'une façon très divisée dans le combustible; grâce à la forme des parois qui vont en se resserrant et à la disposition de la grille, la couche de combustible ne peut jamais être traversée sous une grande épaisseur.

Digitized by Google

Enfin l'introduction d'air et plus tard celle de vapeur se font non sur les côtés, mais par le centre de la cuve. De cette manière on évite que l'air et la vapeur d'eau ne tendent à suivre les parois, ce qui diminuerait leur contact avec le combustible.

10. **Gazogène Kramers et Aarts.** — La combustion, pendant la période de soufflage, du carbone à l'état d'anhydride carbonique, est réalisée dans le gazogène *Kramers et Aarts* par l'emploi de *deux cuves génératrices* au lieu d'une et par la combustion dans des récupérateurs de l'oxyde de carbone formé.

Deux générateurs, placés à côté l'un de l'autre, reçoivent *simultanément* de l'air pendant la *période de soufflage*. Au contraire, pendant la *période de production*, les deux générateurs sont traversés *successivement* par la vapeur d'eau. En d'autres termes, les deux générateurs sont groupés en quantité pendant la période de soufflage et en série pendant la période de production.

A la suite de chacun de ces générateurs se trouve placé un récupérateur revêtu à l'intérieur de briques réfractaires et garni de haut en bas des mêmes briques empilées les unes sur les autres. Dans ces récupérateurs, l'oxyde de carbone, formé dans les générateurs durant le soufflage, est à nouveau brûlé pour donner de l'anhydride carbonique.

Enfin on utilise la température élevée qu'ont encore les gaz brûlés au sortir du récupérateur pour réchauffer, au moyen d'un récupérateur spécial, l'air froid de la période de soufflage.

Pendant une double période de production, on dirige la vapeur d'eau alternativement dans l'un et dans l'autre des générateurs. Les gaz produits et la vapeur d'eau non encore décomposée passent, en sortant du premier générateur, au travers des deux récupérateurs, et quittent l'appareil en traversant le second générateur de haut en bas. La vapeur est donc obligée de parcourir un chemin très long et elle a ainsi le temps de se décomposer complètement ; en même temps, la réduction de l'anhydride carbonique est poussée aussi loin qu'il est pratiquement possible.

Dans des expériences faites à l'installation de *Zevenbergen*, que nous décrivons plus bas, on a obtenu les résultats suivants.

COMPOSITION DU GAZ PRODUIT AU MOYEN DE COKE	Pour 100
Hydrogène	47,90
Oxyde de carbone	43,00
Anhydride carbonique	2,85
Oxygène	0,20
Azote	6,05

PRODUCTION DU GAZ A L'EAU	
Production par heure, en mètres cubes	53
Quantité d'eau pour 100 mètres cubes de gaz, en kilogrammes. Soit 481 grammes par mètre cube de gaz produit.	48,1
Quantité de coke pour 100 mètres cubes de gaz, en kilogr.. Soit 376gr,4 par mètre cube de gaz.	37,64
Pouvoir calorifique par mètre cube, en calories	2.500
Consommation de charbon à la chaudière, en kilogrammes. Cette consommation comptée par litre d'eau vaporisée (pression à la chaudière = 5 atmosphères) est donc de $\frac{280 \times 481}{1.000} = 134^{gr},68$ par mètre cube de gaz produit, les compresseurs d'air étant mus par des moteurs à gaz.	0,280

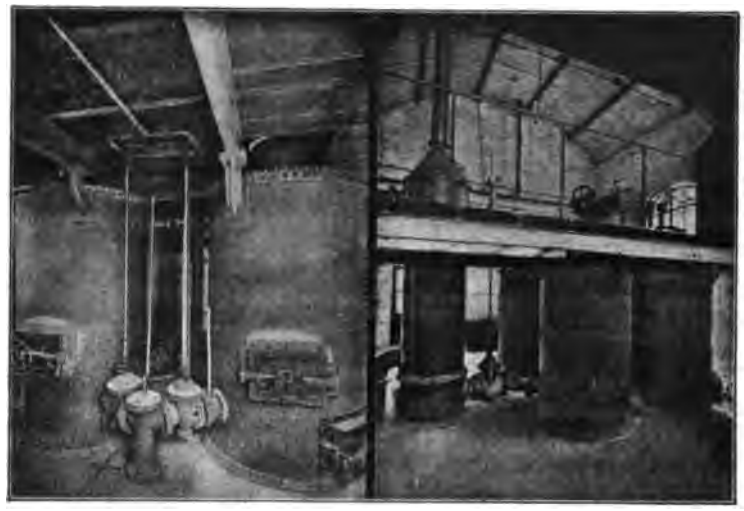
Digitized by Google

Les figures 18 et 19 représentent l'installation de *Zevenbergen*, qui comprend deux appareils de gaz à l'eau, d'une capacité respective de 100 et de 50 mètres cubes à l'heure.

La figure 18 permet de se rendre compte de la construction de l'appareil de gaz à l'eau. A gauche, on voit le réchauffeur, à la partie supérieure duquel se trouve la conduite d'amenée de l'air froid. Cet air sort par le bas, après s'être réchauffé au contact des parois portées à haute température par les gaz brûlés.

De là l'air est conduit sous le sol vers la tubulure de distribution, qui envoie l'air primaire (air pour le soufflage) sous les deux générateurs, et dirige l'air secondaire (air pour la combustion de l'oxyde de carbone) en haut dans les deux récupérateurs.

Continuant vers la droite, on voit la vanne de la cheminée ou du réchauffeur, en position ouverte. C'est par là que, pendant la période de soufflage, les produits de la combustion s'échappent à l'air libre, après avoir traversé le réchauffeur. Pendant la production du gaz à l'eau, cette vanne est fermée.



Cliché Pierson.
Fig. 19. — Installation de Zevenbergen. — L'appareil de gaz à l'eau vu de face.

Cliché Pierson.
Fig. 18. — Installation de Zevenbergen. — L'appareil de gaz à l'eau vu de côté.

Plus loin se trouvent les deux récupérateurs, l'un visible en entier, l'autre à moitié, tous deux pourvus de trous d'homme pour le nettoyage. Au milieu de leur paroi latérale se trouve un regard pour le contrôle de la température.

Tout à fait vers la droite, on aperçoit l'un des générateurs, tous deux visibles sur la figure 19. Chaque générateur est muni d'une porte de cendrier et d'une porte de décrassage.

Au-dessous de la grille se trouve la sortie du gaz munie d'une vanne d'arrêt. Les deux tuyaux de sortie se réunissent en un seul tuyau qui conduit le gaz vers le laveur-scrubber.

La vanne du réchauffeur, les quatre vannes de l'air et les deux vannes de gaz à l'eau sont commandées du plancher de service, que l'on aperçoit à la partie supérieure de la figure 18. Il en est de même pour les robinets de vapeur et les trémies de chargement.

Les figures 20 à 22 représentent une intallation plus grande de gaz à l'eau Kramers et Aarts faite à Amsterdam.

Dans la salle des générateurs (*fig.* 20) se trouvent :

a) Quatre appareils de gaz à l'eau, comportant chacun deux générateurs, deux récupérateurs et un réchauffeur avec cheminée ;

b) Quatre laveurs-scrubbers.

Chaque réchauffeur contient 214 tubes de 50 millimètres de diamètre intérieur, mandrinés à chaque bout dans de fortes plaques tubulaires. Les produits de la combustion traversent ces tubes et l'air circule autour d'eux de haut en bas.

L'air ainsi réchauffé sort du réchauffeur par un tuyau de 600 millimètres en fer galvanisé et se dirige dans une tubulure de distribution.

Digitized by Google

Dans cette tubulure aboutissent les vannes d'air primaire (allant aux générateurs) et une prise verticale pour la montée de l'air secondaire vers les récupérateurs.

Cliché Pierson.

Fig. 20. — Gaz à l'eau Kramers et Aarts.
Installation d'Amsterdam. — La salle des générateurs. A gauche, les laveurs-scrubbers ; à droite, les générateurs.

Sur cette prise verticale repose une culotte à laquelle les vannes d'air secondaire sont boulonnées ; au-dessus est fixée une soupape de sûreté, chargée de telle sorte qu'elle ne s'ouvre que s'il se produit une surpression anormale dans la conduite d'air.

Les générateurs, faits en tôle d'acier de 8 millimètres, sont garnis intérieurement d'un revêtement en briques réfractaires et en terre d'infusoires de forte épaisseur.

Chaque générateur est muni de cinq portes dont trois pour la sortie des mâchefers et deux pour la sortie des cendres.

Les récupérateurs sont construits de la même façon que les générateurs et protégés de la même manière contre les pertes de chaleur par radiation. Des briques réfractaires sont empilées dans l'intérieur des récupérateurs et les remplissent complètement. Elles reposent sur des supports réfractaires et sont disposées de telle façon que leurs interstices n'offrent pas de canaux réguliers, mais constituent, au contraire, des chicanes obligeant les gaz à traverser leur masse en zigzag. Des trous d'homme, en bas, permettent de nettoyer les cendriers sous les supports ou grilles. A mi-hauteur de chaque récupérateur existe un regard permettant de repérer la température des briques.

Cliché Pierson.

Fig. 21. — Gaz à l'eau Kramers et Aarts.
Installation d'Amsterdam. — Le plancher de service.

Les récupérateurs sont reliés entre eux par le bas, au moyen d'une large tubulure ; une culotte les fait communiquer avec le réchauffeur. Une vanne à gaz de 600 millimètres de diamètre permet la fermeture de cette dernière communication. Toutes ces pièces de jonction sont isolées au moyen d'une garniture réfractaire.

Les deux générateurs sont raccordés au laveur-scrubber au moyen d'un tuyau à brides de 300 millimètres de diamètre.

Le laveur-scrubber est fait en tôle ; à 1 mètre de la partie inférieure de cet appareil, il y a une cornière portant une grille en bois. L'appareil est en outre garni intérieurement de lattes en bois. En haut se trouve une distribution d'eau arrosant les lames afin de refroidir le gaz et de le débarrasser des poussières entraînées. Chaque laveur-scrubber est muni en

Digitized by Google

outre de trois trous d'homme afin de pouvoir le visiter intérieurement en haut et en bas, sans avoir à sortir les lames de bois. Le trou du milieu sert à faciliter le montage et le démontage de ces lattes.

L'entrée du gaz dans le laveur-scrubber se fait juste sous la grille en bois ; cette conduite se recourbe ensuite vers le bas pour plonger dans le niveau d'eau formant barillet. Le niveau se maintient constamment, par un siphon *ad hoc*, à 30 centimètres du fond du laveur. Grâce à ce dispositif, il est impossible que le gaz d'un autre appareil ou du gazomètre fasse retour aux générateurs, dans le cas où l'on aurait oublié, à l'arrêt d'un appareil, de fermer la vanne de sortie.

La sortie du gaz au-dessus de la garniture en lattes de bois est munie d'un écran, afin d'éviter que de l'eau n'entre dans la conduite par le rejaillissement des gouttes d'eau tombant sur les lames.

En sortant de la salle des générateurs, le gaz est amené dans un collecteur de 300 millimètres, s'agrandissant graduellement jusqu'à 600 millimètres de diamètre et allant au gazomètre.

Cliché Pierson.

Fig. 22. — Gaz à l'eau Kramers et Aarts.
Installation d'Amsterdam. — Vue d'ensemble de l'usine.

La figure 21 représente le plancher de service.

Sur chaque générateur existe une trémie de chargement par laquelle le coke destiné à la fabrication du gaz est périodiquement introduit (une fois par heure), de telle façon que la hauteur du feu reste sensiblement la même.

En face des deux trémies de chargement de chacun des groupes de générateurs est placé le mécanisme de commande des vannes d'air.

L'air est envoyé aux générateurs par quatre ventilateurs ; chacun d'eux peut fournir, à la vitesse de 1.620 tours à la minute, un volume de 20.000 mètres cubes d'air par minute. Chaque ventilateur est accouplé à une machine à vapeur.

La figure 22 représente l'ensemble de l'installation d'Amsterdam.

11. Les applications du gaz à l'eau. — Le gaz à l'eau trouve son application dans tous les cas où l'on a besoin d'avoir une *flamme très chaude et réductrice*. C'est pourquoi les applications du gaz à l'eau à l'*éclairage* d'une part, à la *soudure autogène* des métaux d'autre part, se sont considérablement répandues dans ces dernières années.

Nous allons indiquer les progrès qui ont été réalisés dans ces voies.

12. Emploi du gaz à l'eau dans les becs Auer. — Le gaz à l'eau, brûlant dans l'air, donne une flamme très chaude que l'on peut employer directement dans les becs Auer pour porter les manchons à l'incandescence. Comme le gaz à l'eau n'a pas d'odeur et que, par suite, les fuites ne sont pas perceptibles, on prend soin de l'odoriser au moyen d'une dissolution à 10 0/0 de mercaptan éthylique dans l'alcool [1] ; il suffit, paraît-il, d'un demi-litre de cette solution pour 35.000 mètres cubes de gaz. Pour être employé dans l'éclairage par

[1] Le mercaptan éthylique (C^2H^5HS) est un liquide incolore qui a une forte odeur d'ail.

Digitized by Google

manchons Auer, le gaz à l'eau doit être soigneusement débarrassé du ferro-carbonyle qui, dans la combustion, donne de l'oxyde de fer détruisant les manchons; comme nous l'avons vu, on obtient cette épuration en faisant passer le gaz dans de l'acide sulfurique concentré.

13. Mélange du gaz à l'eau avec le gaz d'éclairage. — Le gaz à l'eau n'est pas éclairant par lui-même, à cause de la complète absence d'hydrocarbures dans sa composition; de plus, son pouvoir calorifique est très inférieur à celui du gaz d'éclairage. Aussi, lorsqu'on le mélange pur au gaz d'éclairage, le pouvoir éclairant et le pouvoir calorifique de celui-ci sont-ils abaissés. Il est alors nécessaire soit de carburer le gaz à l'eau avant son mélange avec le gaz d'éclairage, soit de recarburer le mélange de gaz d'éclairage et de gaz à l'eau.

14. Carburation du gaz à l'eau, soit à froid au moyen de benzol, soit à chaud au moyen d'huiles de naphte. — La carburation du gaz à l'eau peut se faire soit *à froid, au moyen de benzol;* soit *à chaud, au moyen des huiles de naphte.*

D'après Dellwik, dans la carburation du gaz à l'eau par le benzol, il faut, pour un mélange de 80 0/0 de gaz d'éclairage ordinaire et de 20 0/0 de gaz à l'eau, dépenser environ 20 grammes de benzol par mètre cube de mélange de gaz dont le pouvoir éclairant est de 18 bougies Hefner ou de 1,66 carcel sous 20 millimètres de pression; cela fait de 80 à 90 grammes de benzol par mètre cube de gaz à l'eau.

L'appareil Dellwik pour la carburation du gaz à chaud par l'huile de naphte est constitué par un four à deux rangées de cornues communiquant par la partie arrière. On fait passer le gaz à l'eau et l'huile (injectée dans la cornue à l'aide d'une pompe) dans les cornues du bas, chauffées à 700° environ. L'huile se volatilise et les vapeurs d'huile se mélangent au gaz à l'eau. Le mélange se parfait dans les cornues supérieures, dans lesquelles il passe ensuite. A la sortie des cornues, le gaz passe aux condenseurs, aux scrubbers, aux appareils d'épuration et enfin au gazomètre.

La quantité d'huile de naphte que Dellwik indique comme nécessaire pour carburer son gaz à l'eau, afin qu'il puisse avoir un pouvoir éclairant de 18 bougies Hefner, est de 27 kilogrammes pour 100 mètres cubes : le combustible employé au four de carburation est de 17 kilogrammes de coke, et la main-d'œuvre nécessaire pour ce four est évaluée à 0 fr. 60 pour 100 mètres cubes de gaz produit.

Le gaz d'eau carburé par cette méthode contient en volume 75 0/0 de gaz d'eau et 25 0/0 de gaz d'huile [1].

15. Carburation du gaz à l'eau par le passage de ce gaz dans le barillet des appareils à gaz de houille. — Pour réduire la quantité de benzol indiquée plus haut comme nécessaire pour la carburation à froid du gaz à l'eau, on envoie ce gaz du gazomètre compensateur (où il est accumulé) dans le barillet des cornues à gaz.

Dans ces conditions, en effet, le gaz à l'eau barbotant au travers du goudron retient une partie du benzol qu'il rencontre.

16. Carburation du gaz à l'eau par le passage de ce gaz dans les cornues de distillation du gaz de houille. — Autocarburation. — Mais on va actuellement plus

[1] H. Sospisio, *Gaz à l'eau carburé; son emploi dans les usines à gaz de houille* (Congrès international de l'Industrie du gaz, Paris, 1900).

Digitized by Google

loin dans l'économie du benzol. Les usines à gaz de houille qui sont munies d'appareils producteurs de gaz à l'eau, au lieu d'effectuer le mélange dans les barillets, introduisent le gaz à l'eau dans les cornues de distillation. C'est la méthode dite d'*autocarburation* (1). En effet, au début de sa distillation, la houille laisse dégager dans l'espace vide des cornues des hydrocarbures lourds, qui se décomposent au contact de la paroi supérieure incandescente, en donnant des hydrocarbures plus légers et en laissant déposer une couche de charbon très adhérente; ces dépôts se forment en quantité d'autant plus faible que la pression des gaz à l'intérieur de la cornue est elle-même plus faible. C'est déjà en vue de provoquer un dégagement plus rapide des produits de la distillation que les exhausteurs trouvent leur raison d'être.

Cliché Pierson.

Fig. 23. — Installation de l'autocarburation à Venlo.
(Gaz à l'eau Kramers et Aarts.)

Si l'on dispose de gaz à l'eau, on peut introduire ce gaz dans chaque cornue pendant toute la période où la dissociation des hydrocarbures a une tendance à se faire. Il en résulte immédiatement deux avantages importants.

1° Suppression presque absolue du dépôt de carbone et, par suite, augmentation du rendement en gaz de houille;

2° Carburation automatique du gaz à l'eau, qui se charge de ces hydrocarbures lourds et les emporte au dehors de la cornue avant qu'ils aient eu le temps de se décomposer.

Cliché Pierson.

Fig. 24. — L'autocarburation à Cadix.
Au premier plan, l'appareil de gaz à l'eau Kramers et Aarts; au fond, les fours de l'usine à gaz.

D'après les chiffres obtenus dans l'une des principales usines allemandes où se pratique l'autocarburation du gaz à l'eau, on peut admettre que le pouvoir éclairant du mélange de gaz de houille et de gaz à l'eau n'est plus réduit que de 44 0/0 de ce qu'il était auparavant. L'autocarburation fournit donc un gain de 56 0/0 sur le procédé d'enrichissement qui reposait sur l'addition de benzol; la quantité de benzol qu'il reste à consommer pour obtenir un pouvoir éclairant identique à celui du gaz de houille pur ne correspond plus qu'à 44 0/0 de celle qui était nécessaire autrefois. Grâce au procédé d'autocarburation, l'accroissement du pouvoir calorifique se fait de même et la perte en calories n'est plus

(1) E. Demenge, *le Gaz à l'eau et ses principales applications* (*Revue générale des Sciences*, t. XV, 1904, p. 71).

Digitized by Google

que de 600/0 de la perte résultant autrefois du mélange de gaz à l'eau et de gaz de houille.

Dans la pratique, l'application de l'autocarburation n'offre aucune difficulté. On perfore sous un petit angle la partie postérieure des cornues et l'on y place le tuyau d'entrée, qui ne doit pas être d'un diamètre trop faible. Toute l'installation peut être faite avec des raccords ordinaires, comme à *Venlo* (*fig.* 23) ou à *Cadix* (*fig.* 24).

17. Avantages que les usines à gaz de houille trouvent dans la production du gaz à l'eau. — Beaucoup d'usines à gaz tendent aujourd'hui à produire du gaz à l'eau, parce que son mélange avec le gaz de houille leur procure des avantages considérables.

1° En premier lieu, *la rapidité de production du gaz à l'eau*, permettant de fabriquer en quelques heures d'importantes quantités de gaz, *dote une usine d'une grande élasticité dans la puissance de production;* elle permet de parer aux variations subites de la consommation du gaz.

2° *Une installation de gaz à l'eau coûte, pour une production égale, plus de moitié moins qu'une installation de gaz ordinaire;* l'espace exigé pour cette installation est petit. Il en résulte qu'une usine, fût-elle dans des conditions difficiles, peut toujours facilement augmenter sa puissance de production.

3° *Pour un grand nombre d'usines qui vendent mal ou ne peuvent que difficilement vendre leur coke*, le gaz à l'eau mélangé au gaz ordinaire permet de ne conserver que la quantité de coke qu'on est sûr de vendre à des prix convenables, le reste étant employé à la fabrication du gaz à l'eau. *Outre le meilleur emploi qu'elle fera de ses sous-produits, l'usine gagnera encore sur la valeur du coke déposé en magasin.*

4° *L'emploi du gaz à l'eau carburé permet de faire varier économiquement et en quelques minutes le pouvoir éclairant du gaz;* il permet ainsi de se passer des *cannel* et des *boghead* (1), qui, outre leur prix plus élevé que celui des carburants employés dans la fabrication du gaz à l'eau carburé, donnent un coke de qualité si mauvaise qu'on ne peut souvent le vendre et qu'on ne s'en débarrasse qu'avec beaucoup de difficultés.

5° *Le gaz à l'eau présente un avantage particulièrement sensible sur l'économie de la main-d'œuvre, à cause de la facilité et de la simplicité du travail que doivent faire les ouvriers.*

En effet, pour produire 35.000 mètres cubes de gaz à l'eau par vingt-quatre heures, il faut tout au plus 6 ou 7 ouvriers par équipe; au contraire, dans les usines à gaz ordinaire, pour le simple service des fours, du coke et de la houille, il faut au moins une quinzaine d'ouvriers par équipe, même avec les fours à cornues inclinées et avec transport mécanique de la houille et du coke.

(1) Le *boghead* est une sorte de schiste bitumineux noir connu en minéralogie sous le nom d'*ampélite*. Les gisements très nombreux en Écosse, sont exploités à ciel ouvert concurremment avec ceux des schistes dont ils sont limitrophes. Par distillation, 100 kilogrammes de boghead donnent de 35 à 45 mètres cubes de gaz et de 40 à 45 litres d'eau ammoniacale ou goudron. La composition du gaz est :

	Pour 100
Hydrocarbures et hydrogène	70 à 75
Oxyde de carbone	3 à 4
Acide carbonique	21 à 27

Le *cannel coal* est une sorte de houille de couleur brune ou noire. 100 kilogrammes de ce charbon fournissent de 30 à 33 mètres cubes de gaz dont la composition est la suivante :

	Pour 100
Hydrocarbures et hydrogène	90
Oxyde de carbone	7
Acide carbonique	3

Par mètre cube, ce gaz contient de 58 à 59 grammes de benzol.

Digitized by Google

6° Enfin, *la main-d'œuvre étant limitée, le travail léger et facile, le système n'exige pas d'ouvriers spéciaux;* il en résulte que, si le personnel vient à faire défaut, le premier ouvrier venu, pourvu qu'il soit intelligent et de bonne volonté, peut y être employé et pourvoir ainsi aux nécessités du service.

18. **Le gaz à l'eau ne doit être employé que comme auxiliaire dans la fabrication du gaz de houille.** — Il est bien entendu que *ces avantages ne sont relatifs qu'à la fabrication du gaz à l'eau comme auxiliaire de la production du gaz de houille.* Il ne s'agit pas, comme l'ont proposé quelques ingénieurs, de remplacer complètement les usines de gaz de houille par des usines de gaz à l'eau. Comme l'ont fait remarquer avec raison MM. Vautier et Schaefer (1), le pouvoir calorifique du gaz à l'eau étant moitié moindre que celui du gaz ordinaire, une transformation si radicale entraînerait une réfection très importante de la canalisation, un remaniement complet de la plomberie et des appareils de consommation chez la clientèle. En effet, pour chauffer un bain, par exemple, dans le même temps qu'avec le gaz de houille, il faudrait fournir deux fois autant de gaz à l'eau. Les conduites du client seraient ainsi plus grosses qu'avec le gaz de houille et naturellement plus chères; en outre, il faudrait un compteur double et son installation serait devenue plus coûteuse.

19. **Toxicité des mélanges de gaz de houille et de gaz à l'eau. Un mélange de 80 0/0 de gaz de houille avec 20 0/0 de gaz à l'eau n'est pas plus toxique que le gaz de houille pur.** — Une des principales objections que l'on fait contre l'emploi du gaz à l'eau à l'état de mélange avec le gaz de houille se rapporte à l'accroissement de la proportion d'oxyde de carbone dans la composition du gaz émis. L'oxyde de carbone est en effet un poison redoutable qui, absorbé d'une façon continue à faible dose, forme avec l'hémoglobine du sang un composé stable provoquant à la longue l'anémie et des troubles dangereux.

Le gaz de houille contenant en moyenne 8 0/0 d'oxyde de carbone, un mélange de 80 0/0 de gaz de houille avec 20 0/0 de gaz à l'eau contient environ 15 0/0 d'oxyde de carbone. On a en effet

800 litres de gaz de houille à	8 0/0	de CO donnant	64	litres de CO
200 — à l'eau à	43 0/0	—	86	—
1.000 litres de mélange contenant			150	—

Au point de vue de la teneur en oxyde de carbone, le mélange de 80 0/0 de gaz de houille et de 20 0/0 de gaz à l'eau est plus toxique que le gaz de houille. Mais, si on emploie du gaz de houille pur, c'est-à-dire si on remplace les 20 0/0 de gaz à l'eau par 20 0/0 de gaz de houille, on introduit des gaz tels que le méthane, l'éthylène, l'acétylène, n'existant pas dans le gaz à l'eau, et qui sont presque aussi nuisibles à la santé que l'oxyde de carbone. En fin de compte, le mélange de 80 0/0 de gaz de houille et de 20 0/0 de gaz à l'eau n'est pas beaucoup plus toxique que le gaz de houille pur. Il semble, de plus, que *ce mélange soit moins explosif que le gaz de houille;* en effet, pour avoir un mélange explosif avec l'air, 6 à 7 0/0 de gaz de houille suffisent, tandis que pour le gaz à l'eau il en faut une quantité double, 12 à 14 0/0. Si donc un mélange de 80 0/0 de gaz de houille et de 20 0/0 de gaz à l'eau s'échappe par une fuite dans un appartement, il constituera une atmosphère moins

(1) Congrès international de l'Industrie du gaz en 1900. Séance du lundi 3 septembre (après-midi) : SCHAEFER, *les Nouveaux Concurrents du gaz de houille dans la distribution par station centrale de la lumière, de la force et de la chaleur.*

Digitized by Google

explosive, mais tout aussi asphyxiante que celle qui résulterait d'une fuite de gaz de houille pur.

Toutefois, le cas d'une fuite est un cas exceptionnel et nous devons plutôt considérer les produits de la combustion qui, normalement, se mêlent à l'air que nous respirons et entrent dans nos poumons. Ces produits sont de même nature avec le gaz à l'eau qu'avec le gaz de houille : anhydride carbonique, vapeur d'eau, anhydride sulfureux. Mais, avec le gaz à l'eau, la proportion de gaz carbonique est diminuée d'un tiers et celle de l'anhydride sulfureux de onze douzièmes.

20. Les Comités d'Hygiène admettent en Angleterre que le gaz d'éclairage distribué dans les habitations peut contenir au maximum 20 0/0 d'oxyde de carbone. — Enfin, si nous considérons ce qui se passe en Amérique, en Angleterre, en Allemagne, où les applications du gaz à l'eau ont pris depuis quelques années un grand développement, nous voyons que la pratique déjà longue du gaz à l'eau n'a pas fait apparaître de réels inconvénients. En Angleterre, les Comités d'Hygiène, si sévères dans l'application des règles intéressant la santé, n'ont pas hésité en 1898, après enquête très minutieuse et consultation d'une Commission de chimistes et d'hygiénistes, à admettre comme limite maximum la proportion de 20 0/0 de CO dans le gaz distribué. Le mélange de 80 0/0 de gaz de houille et de 20 0/0 de gaz à l'eau contenant de 15 à 18 0/0 de CO peut donc, d'après les Anglais, être admis comme gaz de distribution [1].

21. Applications du gaz à l'eau dans les fours de verrerie et en métallurgie. — L'application du gaz à l'eau à l'éclairage, soit par manchons Auer, soit au moyen de becs ordinaires, n'est pas la seule qui ait été tentée.

L'emploi de ce gaz est aussi à recommander dans les *fours de verrerie* et dans les *fours métallurgiques*, où l'on a besoin de hautes températures et où l'on ne veut pas s'obliger à réchauffer, au préalable, l'air et le gaz.

22. Application du gaz à l'eau à la soudure autogène. — Le gaz à l'eau semble encore avoir trouvé un troisième emploi d'une haute importance.

Il paraît être le gaz qui convient le mieux pour souder les métaux et des applications très importantes ont été faites dans ce sens.

Les difficultés que l'on rencontre pour souder l'acier sont très considérables à cause de l'oxydabilité de ce métal quand il est chauffé au-dessus d'une certaine température. Jusqu'ici, pour porter une pièce au blanc soudant, on était obligé de la placer longtemps au contact même du combustible fortement soufflé ; il en résultait que les extrémités à souder se recouvraient d'oxydes, de scories et de fraisil, dont il fallait ensuite les nettoyer avant de les rapprocher par pression. Obtenue dans ces conditions, la soudure était généralement

[1] On peut déceler la quantité d'oxyde de carbone contenue dans l'air d'un appartement par la méthode suivante due à M. Armand Gautier et qui a été rendue d'une réalisation pratique par MM. Albert Lévy et Pécoul (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 9 janvier 1905). On fait passer de l'oxyde de carbone sur de l'anhydride iodique I^2O^5 chauffé à 80° ou 90° C. ; il se forme de l'anhydride carbonique et de l'iode. L'équation de la réaction est

$$5CO + I^2O^5 = 5CO^2 + I^2.$$

L'iode vaporisé est entraîné par le courant gazeux et vient se dissoudre tout entier dans une petite quantité de chloroforme (3 à 4 centimètres cubes). Ce dernier prend une teinte rose dont l'intensité permet de doser le poids d'iode mis en liberté et, par suite, la proportion d'oxyde de carbone, en le comparant à une gamme colorée formée de tubes scellés contenant les mêmes volumes de liquide et des poids connus d'iode.

En évitant ainsi toute manipulation chimique, on peut établir un appareil très simple, transportable dans les locaux suspects, et qui, sur place par la simple ouverture d'un robinet, permet d'indiquer rapidement avec 4 litres d'air seulement la présence de $\frac{1}{200.000}$ d'oxyde de carbone.

MM. Lévy et Pécoul ont pu déceler ainsi, en raison de l'oxyde de carbone qu'il contient, la présence de fuites de gaz d'éclairage alors qu'elles n'étaient pas perceptibles à l'odorat.

Digitized by Google

douteuse; car, malgré toutes les précautions, des corps étrangers finissaient toujours par s'y interposer. Cela même explique pourquoi, dans la question du soudage, on attachait une si grande importance à la qualité du combustible employé et pourquoi, d'autre part, on cherchait à faciliter le nettoyage des surfaces en les saupoudrant de borax. De plus, le contact prolongé du métal avec le charbon cémentait le métal et en altérait les propriétés mécaniques.

Le gaz à l'eau donne un moyen simple et économique d'obtenir une soudure *autogène*. Pour chauffer le métal, on se sert d'un brûleur spécial, constitué par une boîte en fonte à deux compartiments dans lesquels l'air et le gaz à l'eau sont insufflés à une certaine pression. Les deux fluides viennent se réunir à la lèvre du brûleur protégée par un garnissage réfractaire et s'enflamment. Un excès de gaz réducteur empêche les oxydations. On peut ainsi obtenir une soudure absolument autogène sur des pièces dont l'épaisseur varie entre 3 et 75 millimètres.

Parmi le grand nombre de pièces que l'on soude déjà au gaz à l'eau, il faut mentionner :

Les *réservoirs à air ou à gaz comprimés;*

Les *bouteilles à acide carbonique liquide;*

Les *foyers de chaudières lisses ou ondulés;*

Les *boîtes à eau et communications des générateurs de vapeur;*

Les *poteaux de lampes électriques et de trolleys;*

Les *mâts militaires pour vaisseaux de guerre;*

Les *bouées;*

Les *tubes avec ou sans brides;*

Les *tuyaux pour conduites de gaz ou d'eau sous pression.*

Dans tous ces cas, le soudage au gaz à l'eau a remplacé le rivetage.

D'après M. E. Demenge (1), si on fabrique du gaz à l'eau par le procédé Dellwik-Fleischer avec du coke à 25 francs la tonne et du charbon pour la production de la vapeur à 22 francs la tonne, on peut évaluer en moyenne de la manière suivante les dépenses journalières pour la soudure au gaz à l'eau.

1.000 mètres cubes de gaz à 0 fr. 025	25 francs
Main-d'œuvre : 1 soudeur à 6 francs + 2 aides à 5 francs	16 —
Force motrice : 8 chevaux pendant 10 heures à 0 fr. 10 par cheval.	8 —
Usure des brûleurs	2 —
	51 francs

Or on peut admettre une production de 24 à 30 mètres de soudure par dix heures avec des tôles de 8 à 10 millimètres d'épaisseur.

Le prix de revient par mètre de soudure ressort par conséquent à un chiffre compris entre 1 fr. 70 et 2 fr. 10.

Or, avec le coke, il n'est guère possible de souder plus d'un demi-mètre en moyenne par heure (5 mètres dans une journée de dix heures), avec quatre hommes quand on fabrique des tubes de petit diamètre et avec cinq hommes s'il s'agit de tubes d'un diamètre dépassant 1 mètre. Le prix des *salaires seuls* par mètre de soudure est donc compris entre 3 fr. 50 et 4 francs.

Le tableau I contient les diverses applications du gaz à l'eau produit par le procédé Dellwik-Fleischer.

(1) E. Demenge, *le Gaz à l'eau* (*Revue générale des Sciences*, 1904). On trouvera dans cet article des détails très intéressants sur les divers types d'appareils pour le soudage par le gaz à l'eau, ainsi que des comparaisons entre ce mode de soudage et les soudages soit à l'électricité, soit avec un mélange d'acétylène et d'oxygène, soit avec un mélange d'hydrogène et d'oxygène.

Digitized by Google

TABLEAU 1

INSTALLATIONS DE GAZ A L'EAU ET DE GÉNÉRA-

PROPRIÉTAIRE DE L'INSTALLATION	LOCALITÉ	NOMBRE DE GÉNÉRATEURS
		USINE
Municipalité	Kœnigsberg (Prusse).	2
Deutsche Continental-Gas-Gesellschaft	Erfürt.	1
Municipalité	Remscheid.	1
id.	Barmen-Rittershausen (Prusse Rhénane).	2
id.	Plauen (Saxe).	1
id.	Pforzheim (Bade).	2
Compagnie du Gaz de Lyon	Lyon.	2
Municipalité	Nüremberg.	1
Verwarmings en Verlichtings Maatschappij	Brummen (Hollande).	2
A. G. Gas Wasser und Elektricität-Anlagen, Berlin	Osterfeld (Westphalie).	2
id.	Warstein id.	2
Municipalité	Wiborg (Finlande).	1
id.	Dortmund (Allemagne).	1
id.	Stuttgart (Würtemberg).	1
id.	Berlin-Mariendorf.	2
id.	Dresde (Saxe).	1
id.	Trieste (Autriche).	2
id.	Arnheim (Hollande).	1
id.	Zutphen id.	1
id.	Berne (Suisse).	1
id.	West Bromwich (Angleterre).	1
Société Saint-Quentinoise	Saint-Quentin (France).	1
Societá Anglo-Romane per la illuminazione di Roma	Rome (Italie).	2 2
Compañia popular de gas y de electricidad	Gijon (Espagne).	2
Compagnie centrale d'éclairage par le gaz	Barcelone (Espagne).	1
Société particulière	Ilfracombe (Angleterre).	1
id.	Ruhsden id.	1
id.	Cwmbram id.	1
id.	Barming-London id.	1
id.	Cleethorpes id.	1
id.	Bilston id.	1
Ilford Gas C°	Ilford id.	1
Tipton Corporation	Tipton id.	1
Société particulière	Beyrouth (Syrie).	1
Municipalité	Güstrov (Allemagne).	1
id.	Ludwigshafen (sur le Rhin).	1
id.	Salzwedel (Allemagne).	1
	INDUSTRIES DU FER ET DE L'ACI	
Gutehoffnungshütte Oberhausen, section Sterkrade	Sterkrade (Prusse Rhénane).	2
Leeds Forge Company Limited	Leeds (Angleterre).	1
Neue deutsche Stahlwerke A. G.	Reinickendorf (près de Berlin).	1
Peiner Walzwerk A. G.	Peine.	1
Aktien Gesellschaft der Dillinger Hüttenwerke	Dillingen-sur-Saar (province du Rhin).	1
Ateliers de construction et de chaudronnerie de la Société W. Fitzner et K. Gamper	Sielce près de Sosnowice (Russie).	2
Deutsche Röhrenwerke (Fabrique de tuyaux)	Düsseldorf.	2
W. Fitzner, soudage à chaude suante de tôles et chaudronnerie	Laurahütte (Haute-Silésie)	2
Duisburger Eisen und Stahlwerke	Duisburg.	2
Deighton's Patent Flue and Tube Company Limited	Leeds (Angleterre).	1

Digitized by Google

TABLEAU I

DU SYSTÈME DELLWIK-FLEISCHER

RODUCTION DES APPAREILS		APPLICATION DU GAZ A L'EAU	OBSERVATIONS
AR HEURE	PAR JOUR		
AIRAGE			
tres cubes	mètres cubes		
50-320) 2	12.000-15.360	Eclairage, chauffage, feu de cuisine.	
250-320	6.000-7.680	id.	
id.	id.	id.	
50-320) 2	12.000-15.360	id.	Gaz à l'eau carburé au benzol comme auxiliaire du gaz de houille.
250-320	6.000-7.680	id.	
50-320)2	12.000-15.360	id.	
id.	id.	id.	
500-650	13.000-15.600	id.	
(25-40)	600-960	id.	
id.	1.200-1.920	id.	Gaz à l'eau pur.
id.	id.	id.	
150-210)	3.600-5.040	id.	
250-320	6.000-7.680	id.	
id.	id.	id.	Autocarburation.
700-800)	33.600-38.400	id.	
250-320	6.000-7.680	id.	
(500-600)	24.000-28.800	id.	Carburation à l'huile et au benzol.
250-320	6.000-7.680	id.	Carburation au benzol.
150-210	3.600-5.040	id.	
250-320	6.000-7.680	id.	Autocarburation.
500-650	12.000-15.360	id.	
250-320	6.000-7.680	id.	
(500-650)	24.000-28.800	id.	
(700-800)	33.600-38.400	id.	Carburation au benzol.
(250-320)	12.000-15.360	id.	
250-320	6.000-7.680	id.	Autocarburation.
140-210	3.360-5.040	id.	
140-210	id.	id.	Carburation au benzol.
140-210	id.	id.	
250-320	6.000-7.680	id.	
250-320	id.	id.	Carburation à l'huile.
140-210	3.360-5.040	id.	
500-650	12.000-15.360	id.	Carburation au benzol.
250-320	6.000-7.680	id.	Autocarburation.
50-60	1.200-1.440	id.	Carburation au benzol.
100-130	2.400-3.120	id.	
140-210	3.360-5.040	id.	Autocarburation.
id.	id.	id.	
ATELIERS DE CONSTRUCTION DE MACHINES			
2(250-320)	10.000-12.800	Fours Martin.	
500-650	10.000-13.000	Fours Martin et soudures à chaude suante.	
250-320	2.500-3.200	Fours Martin.	
500-650	10.000-13.000	id.	
250-320	5.000-6.400	Soudage à chaude suante des tôles.	
2(500-650)	20.000-26.000	Soudage à chaude suante des tôles de chaudières et chauffage au rouge.	
2(250-320)	10.000-12.800	Soudage à chaude suante des tuyaux.	Gaz à l'eau pur.
2(250-320)	id.	Soudage à chaude suante des blindages, des mâts de navires de guerre. Chaudronnerie de générateurs.	
2(100-130)	2.000-2.600	Soudage à chaude suante des tôles de chaudière.	
500-650	10.000-13.000	id.	

Digitized by Google

TABLEAU I (*suite*)

PROPRIÉTAIRE DE L'INSTALLATION	LOCALITÉ	NOM DE GÉNÉ
Aktien Gesellschaft Ferrum (auparavant Rhein et Cie)...	Zawodzie (près de Katonitz) (Haute-Silésie).	1
Rheinische Röhren-Dampfkessel Fabrik. A. Büttner et Cie..	Uerdingen (sur le Rhin).	1
Mekanika Werkstaden Vulkan	Norrkœping (Suède).	1
R. and J. Dempster Limited. Appareils à gaz et constructions mécaniques	Manchester.	1
J. N. Eberlé und Co. Fabrique de ressorts de montre et de scies	Augsburg.	2
Bergische Fahrradwerke *Elite* Fritz Evertsbusch.....	Leunep (près de Remscheid).	1
Warsteiner Gruben und Hüttenwerke.....	Warstein (Westphalie).	1
Beardmore and Co	Glasgow (Ecosse).	1
Usine Piedbœuf	Belgique.	1
Orfèvrerie d'Ercuis	Ercuis (France).	2
Lange und Gehrckens.....	Altona.	1
Akt. Gesell. Balcke, Tellering und Co.....	Beurath.	2
Zinkwerke Grillo.....	Oberhausen.	1
Société métallurgique.....	Witkowitz (Autriche).	3
Compagnie belge. Constructions automobiles.....	Bruxelles (Belgique).	1
Edwin Danks and Co Limited.....	Oldburg Staffordshire (Angleterre).	1
Aciéries Liégeoises	Brenoux (Belgique).	1
Siemens Brothers Limited.....	Stafford (Angleterre).	1
Avesta Jewerks Aktiebolag	Avesta (Suède).	1
Ljusne Jernwerks.....	Ljusne id.	2
Mydquist et Holm	Trollhateau id.	2
Aktiebolaget Separator.....	Stockholm id.	2
Balleydier et Cie.....	Gênes (Italie).	1
		VER
Verrerie de MM. Schulze-Berge et Schulz.....	Lüssen (Westphalie).	1
Verrerie Haye.....	Allemagne du Nord.	1
Pilkington Brothers Limited.....	Saint-Helens, Lancashire (Angleterre)	2
Risler und Co.....	Fribourg.	2
Reijmyre Bruks Aktiebolag.....	Reijmyra (Suède).	1
		FABRIQUES DE LAM
Società Cruto.....	Turin.	1
Fabrique de lampes à incandescence Svea de M. de Laval.	Stockholm.	1
Allgemeine Elektricität Gesellschaft.....	Berlin.	2
		ENTREPRE
Gesellschaft für Elektrische Unternehmungen.....	Berlin.	1
Société particulière.....	Hörde (Westphalie)	1
		FABRIQUES DE PRODUITS CHIMIQ
De Haen.....	List (près de Hanovre).	1
The Cassel Gold Extracting Co Limited.....	Glasgow.	2
Badische Aniline und Soda-Fabrik.....	Ludwigshafen-sur-le-Rhin.	2
The Lake Superior Power Co	Sault-Sainte-Marie (Canada).	1
Salicylsäure-Fabrik Hayden.....	Radebeul (Saxe).	1
Akt. Gesell. Farben Fabriken, auparavant Fr. Bayer und Co.	Leverkusen (près Mulheim).	2

Digitized by Google

TABLEAU I (*suite*)

PRODUCTION DES APPAREILS		APPLICATION DU GAZ A L'EAU	OBSERVATIONS
PAR HEURE	PAR JOUR		
mètres cubes	mètres cubes		
250-320	5.000-6.400	Soudage à chaude suante des tôles de chaudière, des tuyaux.	
id.	2.500-3.200	id.	
150-210	1.500-2.100	id.	
250-320	5.000-6.400	Fours à chauffer au rouge.	
2(50-60)	1.000-1.200	Réchauffage au rouge.	
25-40	250-400	Soudures tendres et dures. Séchoirs, chauffage et éclairage.	
100-130	1.000-1.300	Moteurs à gaz, feux de forges, de soudures à chaude suante, de trempe, réchauffage au rouge. Eclairage, chauffage, cuisine.	
250-320	2.500-3.200	Soudage des chaudières, des tubes et des mâts, feux de forge, fours à rivets.	Gaz à l'eau pur.
id.	6.000-7.680	Soudages de tubes.	
2 (100-130)	4.800-6.240	Chauffages divers et éclairage.	
140-210	»	Soudage de chaudières.	
2 (250-320)	»	Soudage de tubes.	
50-60	»	Chauffage réducteur.	
250-320	»	Soudage.	
100-130	»	Réchauffage.	
250-320	»	Soudage de chaudières.	
100-130	»	Réchauffage.	
500-650	»	id.	
250-320	»	Soudage:	
140-210	»	id.	
100-130	»	Chauffage.	
140-210	»	Soudage.	
250-320	»	Soudage de tubes.	
IES			
100-130	1.000-1.300	Verres fins, chauffage et cuisine. Eclairage.	
id.	id.	Fusion du verre en cuve pour la fabrication des bouteilles.	Gaz à l'eau pur.
2 (500-650)	20.000-26.000	Fusion du verre en cuve pour la fabrication du verre en tables, à glaces et à vitres.	
2 (100-130)	»		
140-210	»		
INCANDESCENCE			
50-60	500-600	Soufflage du verre. Fabrication de lampes électriques à incandescence.	Gaz à l'eau pur.
100-130	1.000-1.300		
150-210	»		
ÉLECTRICITÉ			
25-40	250-400	Soudages au plomb d'accumulateurs.	Gaz a l'eau pur.
50-60	»	id.	
' INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE			
100-130	1.000-1.300	Fabrication de produits chimiques.	
2 (250-320)	6.000-6.400	id.	
2 (500-650)	10.000-12.800	id.	
2 (250-320)	10.000-12.800	Service central des feux et éclairage des usines.	
500-650	10.000-13.000	Service central des feux, surtout des foyers de chaudières. Séchage de papier mâché. Grillage de minerai de nickel.	Gaz à l'eau pur.
100-130	»	Chauffage réducteur.	
140-210	»	id.	

Digitized by Google

CHAPITRE III

LES COMBUSTIBLES DES GAZOGÈNES

I

DÉTERMINATIONS CALORIMÉTRIQUES

1. Combustibles des gazogènes. — Nous désignerons sous le nom de *combustibles*, des corps solides, liquides ou gazeux, qui sont capables de brûler au contact de l'air en dégageant de la chaleur.

Nous laisserons ici de côté les combustibles liquides (pétroles, huiles lourdes) pour ne nous occuper que des combustibles solides plus particulièrement employés dans les gazogènes.

Les combustibles sont généralement d'origine purement organique ou végétale et comprennent toutes les variétés d'*anthracite*, de *charbon de terre*, de *lignite*, de *bois*, de *coke*, de *charbon de bois*.

2. Composition des combustibles solides. — Combustibles gras. — Combustibles maigres. — Tous ces combustibles dérivent de la cellulose. Ils sont formés principalement :

1° De *carbone*, d'*hydrogène*, d'*oxygène*, d'*azote*. Ces divers éléments sont combinés entre eux et donnent, quand ils sont chauffés en vase clos, des *produits volatils*, des hydrocarbures qui distillent et constituent des combustibles gazeux. Dans les analyses des combustibles solides employés dans les gazogènes, on indique, la plupart du temps, sous le nom de *teneur en matières volatiles*, la proportion de ces produits que l'on peut recueillir par distillation. Nous verrons que la connaissance de cette donnée a une grande importance au point de vue de l'utilisation des combustibles dans les gazogènes ;

2° De *soufre* et de *phosphore ;*

3° De *matières inertes* (silice, alumine, alcalis, terres alcalines, oxydes de fer, etc...).

Ces dernières engendrent les *cendres* ou *résidus*.

Industriellement, on nomme *combustibles gras* ceux dont les résidus sont formés de morceaux collés les uns aux autres, et *combustibles maigres* ou *secs* ceux dont les résidus sont composés de morceaux indépendants ayant gardé la même forme qu'avant la combustion.

Digitized by Google

3. Puissance calorifique absolue. — Dans l'étude des gazogènes, il sera important de connaître la quantité de chaleur dégagée par un combustible brûlant dans une quantité d'air suffisante pour qu'il y ait combustion complète.

Nous appellerons *puissance calorifique absolue supérieure* (1) d'un combustible brûlant dans une quantité d'air nécessaire et suffisante pour la combustion complète, le nombre de calories-kilogrammes dégagées par un kilogramme de ce combustible, *la vapeur d'eau produite dans la réaction étant supposée condensée.*

Si la quantité d'eau produite dans la réaction est supposée en vapeur à la température de 100°, la quantité de chaleur dégagée par un kilogramme de combustible s'appelle la *puissance calorifique absolue inférieure.*

En *Allemagne*, une convention a été établie entre l'*Union des ingénieurs* et les *Associations de surveillance de chaudières à vapeur*. D'après cette convention,

Chaleur de combustion (*Verbrennungswärme*) se rapporte à une combustion dont les produits sont de l'anhydride carbonique et de l'*eau liquide* ramenée à la température du calorimètre ;

Pouvoir calorifique (*Heizwert*) se rapporte à la combustion dont les produits sont de l'anhydride carbonique et de l'*eau en vapeur à* 100°.

Dans le cas actuel, la chaleur de combustion correspond donc à la puissance calorifique absolue supérieure et le pouvoir calorifique à la puissance calorifique absolue inférieure.

En *Autriche*, la chaleur de combustion est appelée *pouvoir calorifique supérieur* (*Oberer Heizwert*), et le pouvoir calorifique *pouvoir calorifique inférieur* (*Unterer Heizwert*) (2).

Rendons-nous compte de la différence qui existe entre les deux puissances calorifiques absolues inférieure et supérieure, en supposant que l'eau condensée soit ramenée à la température de 15° C.

Pour un combustible renfermant 1 0/0 d'hydrogène, 1 kilogramme donnera $0^{kg},09$ d'eau, dont la condensation dégagera 48,33 calories-kilogrammes ; le refroidissement jusqu'à 15° dégagera 7,65 calories-kilogrammes, soit en tout 55,98 calories-kilogrammes (622 calories pour la condensation et le refroidissement de 100° jusqu'à 15° de 1 kilogramme d'eau ; en Allemagne, on prend 600 calories).

Si nous admettons pour une houille, par exemple, une puissance calorifique absolue supérieure de 7.500 calories-kilogrammes, la différence entre les deux puissances calorifiques représentera, pour un combustible à 6 0/0 d'hydrogène, 335,88 calories-kilogrammes, soit 4,47 0/0 de la puissance calorifique supérieure ; pour un combustible à 4,5 0/0 d'hydrogène (valeur moyenne), la différence sera de 251,9 calories-kilogrammes, soit 3,3 0/0 de la puissance calorifique supérieure.

4. Puissance calorifique spécifique. — On considère souvent la *puissance calorifique spécifique*, qui est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de 1 litre du combustible. Nous n'aurons pas à en parler ici.

La seule bonne méthode susceptible de donner avec exactitude la puissance calorifique absolue d'un combustible est la *méthode calorimétrique.*

(1) Nous employons cette dénomination de *puissance calorifique absolue*, que nous trouvons dans l'*Annuaire technique* de H. Rodier (fascicule des *Combustibles*), afin de distinguer cette quantité du *pouvoir calorifique* d'un combustible gazeux ; la puissance calorifique est rapportée au kilogramme de combustible solide, et le pouvoir calorifique au mètre cube de combustible gazeux.

(2) Arth, *Sur l'évaluation du pouvoir calorifique des houilles et autres combustibles hydrogénés* (*Revue de Métallurgie*, 1906 ; et *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale ;* mémoires originaux de la *Revue de Métallurgie*, 1er octobre 1906).

Digitized by Google

5. Principe de la méthode calorimétrique permettant la détermination de la puissance calorifique absolue supérieure d'un combustible. — Dans une capacité à parois résistantes, on place une matière combustible; on introduit ensuite de l'oxygène sous une pression convenable et on ferme exactement l'enceinte. Si l'on immerge ensuite l'appareil dans l'eau d'un calorimètre, et si on enflamme le combustible par un artifice quelconque, le charbon brûle *complètement et presque instantanément*. La chaleur dégagée se transmet *sans aucune déperdition* à l'eau du calorimètre, et on peut l'estimer comme dans toutes les opérations calorimétriques.

Tel est le principe de la méthode de la bombe calorimétrique de MM. Berthelot et Vieille. M. Mahler a transformé cet appareil de manière à le rendre industriel (1).

6. Description de l'appareil de M. Mahler. — L'appareil de M. Mahler (*fig.* 25) se compose essentiellement d'un obus B, d'un calorimètre D avec enceinte isolatrice A remplie d'eau et agitateur S.

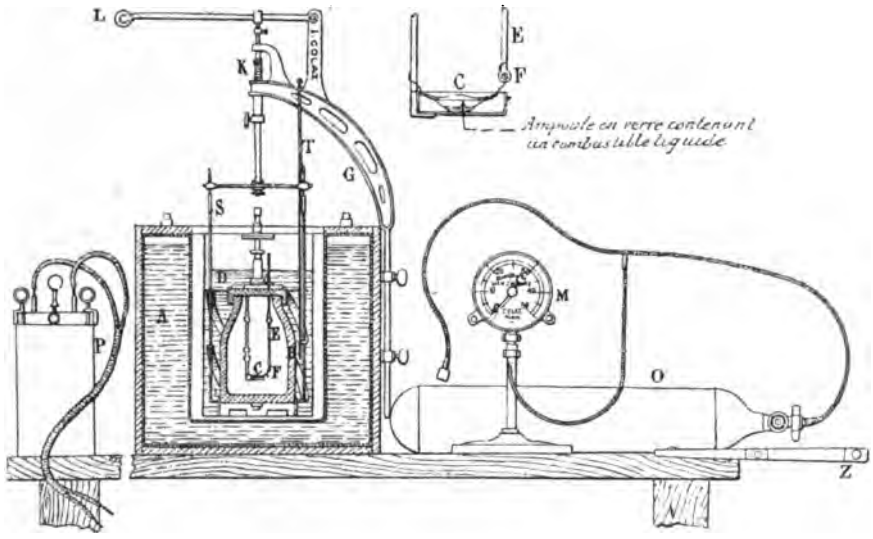


Fig. 25. — Appareil pour la détermination industrielle de la puissance calorifique absolue supérieure des combustibles. A, Enveloppe isolante; — B, Obus en acier émaillé; — C, Capsule en platine; — D, Calorimètre; — E, Électrode; — F, Fil de fer servant d'amorce; — G, Support de l'agitateur; — K, Mécanisme de l'agitateur; — S, Agitateur; — L, Levier de l'agitateur; — M, Manomètre; — O, Tube d'oxygène; — P, Générateur d'électricité; — T, Thermomètre; — Z, Pièce servant d'étau; — C, Dispositif pour la combustion des liquides.

L'obus est en acier supérieur doux, forgé, dont les parois ont 8 millimètres d'épaisseur. Cet obus est *nickelé extérieurement; intérieurement*, il est préservé par une *couche d'émail* contre l'action corrosive de l'acide azotique qui se forme toujours pendant la combustion. L'obturation de l'obus se fait par un bouchon en fer à vis qui vient serrer une bague de plomb enchâssée dans une rainure circulaire. Le bouchon porte un robinet à vis conique

(1) Ce n'est qu'à partir de la création du calorimètre de Favre et Silbermann que les recherches sur la puissance calorifique des combustibles ont donné des résultats ayant quelque précision. Avec cet appareil, Scheurer-Kestner et Meunier ont fait un grand nombre de déterminations (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXI et XXVI). De 1882 à 1891, le Dr Bunte s'est servi dans le même but d'un calorimètre de Fischer qui ne diffère guère de l'appareil de Favre et Silbermann. Mais le meilleur appareil qui puisse être utilisé est certainement la bombe calorimétrique de MM. Berthelot et Vieille (*Annales de Chimie et de Physique*, 1885 : *Méthode pour mesurer la chaleur de combustion du charbon et des composés organiques*). Mais l'appareil employé par ces savants est doublé à son intérieur d'une chemise en platine de plusieurs milliers de francs; M. Mahler a eu l'heureuse idée de mettre cet appareil à la portée de tous les laboratoires industriels en l'émaillant à l'intérieur [Mahler, *Contribution à l'étude des combustibles; détermination industrielle de leur pouvoir calorifique* (*Bulletin de la Société d'Encouragement à l'Industrie nationale*, t. XCI, 1892, p. 319)].

Digitized by Google

dit *robinet à pointeau*, qui sert à l'introduction de l'oxygène. La vis conique est en ferro-nickel, métal presque inoxydable. Une électrode, bien isolée et prolongée à l'intérieur par une tige de platine, traverse le bouchon. Une autre tige de platine, également fixée au bouchon, soutient la capsule plate où l'on place le combustible à essayer. La figure 26 montre les détails de cette partie de l'appareil.

On enflamme le combustible en le mettant en contact avec une petite spirale en fil de fer qu'un courant électrique brûle au moment voulu et qui joue ainsi le rôle d'amorce.

Le calorimètre est en laiton mince; à cause du grand volume de l'obus, sa capacité est considérable. On y verse généralement de 2 kilogrammes à $2^{kg},500$ d'eau, éliminant ainsi les causes d'erreur qui pourraient provenir de la perte de quelques gouttes d'eau et de l'évaporation, qui en été ne dépasse pas 1 gramme par heure. L'emploi de l'enceinte isolatrice A réduit à presque rien la correction due à la perte de chaleur de l'appareil pendant l'opération. Par ces conditions, on peut permettre à un industriel de faire sans difficulté de la calorimétrie de précision.

La figure 25 indique nettement quelles sont les autres parties de l'appareil Mahler.

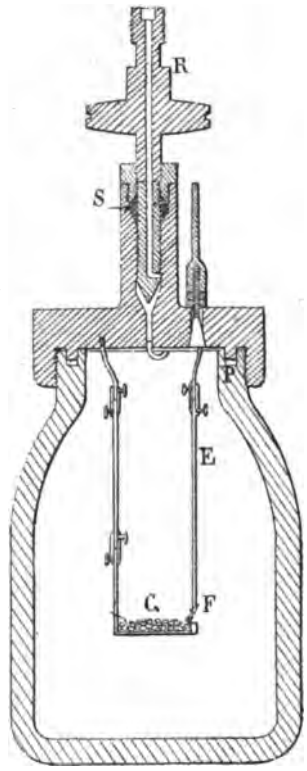


Fig. 26. — Appareil de Mahler pour la détermination de la puissance calorifique absolue des combustibles.
Coupe de la chambre de combustion.
R, Robinet pointeau en ferro-nickel; — S, Stuffing-box à étoupe; — P, Rondelle en plomb.

7. Mode opératoire pour déterminer la puissance calorifique d'un combustible. — La méthode à suivre pour déterminer au moyen de cet appareil la puissance calorifique absolue d'un combustible est la suivante.

I. On pèse ϖ grammes (*généralement* 1 *gramme*) de la substance à essayer [1] dans la capsule, on noue à l'électrode et au support de la capsule un petit morceau de fil de fer d'un poids connu qui sert d'amorce. Après avoir introduit le tout dans l'obus, on serre fortement le bouchon de la chambre de combustion, que l'on saisit à cet effet entre les mâchoires d'un étau.

II. On met le robinet à pointeau de l'obus en communication avec le tube d'oxygène. Ouvrant ensuite avec précaution le robinet de celui-ci et le robinet à pointeau de l'obus, on laisse entrer l'oxygène jusqu'à ce que le manomètre marque la pression jugée convenable, 20 à 25 atmosphères environ. Après avoir fermé le robinet du tube à oxygène, on ferme aussi très exactement le robinet à pointeau et on desserre l'écrou du tube en cuivre, qui fait communiquer l'obus avec le réservoir d'oxygène.

On a soin de ne pas peser la substance et en particulier le charbon en poudre trop fine; il faut aussi introduire lentement l'oxygène, de peur de soulever, par le courant de gaz, la matière qui se trouve dans la capsule.

III. L'obus ainsi préparé est placé dans le calorimètre. On ajuste le thermomètre et l'agitateur. On verse l'eau qu'on a préalablement jaugée. On agite quelques minutes le liquide afin que l'ensemble du système se mette en équilibre de température. On commence alors l'observation.

[1] Le prélèvement de l'échantillon du combustible à étudier est une opération délicate et qui demande à être conduite avec soin.

Digitized by Google

IV. On note la température de minute en minute pendant quatre ou cinq minutes, et on fixe ainsi la loi que suit le thermomètre avant l'inflammation.

V. On met le feu en approchant de l'obus les électrodes d'une pile ; une des électrodes est mise au contact d'une borne correspondant à la tige de platine E (*fig.* 26) ; l'autre pôle est appliqué en un point quelconque du robinet à pointeau.

L'inflammation a lieu aussitôt ; la combustion est presque instantanée ; mais la transmission de la chaleur à l'eau du calorimètre prend quelques minutes.

VI. On note la température une demi-minute après la mise en feu, puis à la fin de la minute d'inflammation. On continue les observations thermométriques de minute en minute, jusqu'au moment où le thermomètre commence à descendre régulièrement. C'est le *maximum*.

VII. Enfin, on continue les observations thermométriques pendant cinq minutes environ, pour déterminer la loi que suit le thermomètre après le maximum.

8. **Correction calorimétrique dans les appareils Mahler.** — On a tout ce qu'il faut pour effectuer la correction due à la chaleur dégagée par le calorimètre pendant l'accroissement de température qui précède le maximum. Cette chaleur dégagée est d'ailleurs très faible parce que, d'une part l'expérience dure peu de temps ; et, d'autre part, les variations de la température de l'eau du calorimètre sont très faibles, grâce à la masse considérable de celle-ci. De ses expériences M. Mahler a déduit la règle empirique suivante qui, dans tous les appareils analogues au sien, permet de calculer la correction calorimétrique.

Supposons qu'avant l'inflammation on note les valeurs suivantes pour les températures marquées par le thermomètre.

AVANT L'INFLAMMATION

0 minute.....	t_0	2 minutes.....	t_2
1 —	t_1	3 —	t_3

La variation moyenne de température par minute pendant cette période est

$$\alpha_0 = \frac{t_3 - t_0}{3}.$$

Pendant la période de combustion, on note pour le thermomètre les indications suivantes.

PÉRIODE DE COMBUSTION

3 + 1/2 minutes.....	t'_3	5 minutes.....	t_5
4 minutes.....	t_4	6 —	t_6 (maximum)

Enfin, pendant la période qui suit la combustion, on note pour le thermomètre les indications.

PÉRIODE CONSÉCUTIVE A LA COMBUSTION

7 minutes.....	t_7	10 minutes.....	t_{10}
8 —	t_8	11 —	t_{11}
9 —	t_9		

Digitized by Google

L'abaissement moyen de température par minute pendant cette période est égal à

$$\alpha_t = \frac{t_{11} - t_6}{5}.$$

La variation brute de température pendant la combustion a été

$$\Delta = t_6 - t_3.$$

Il faut y ajouter la correction suivante.

Si les températures moyennes $\frac{t_5 + t_6}{2}$, $\frac{t_4 + t_5}{2}$ ne diffèrent pas du maximum t_6 de plus de 1° et que la température moyenne $\frac{t_4 + t'_3}{2}$ diffère du maximum t_6 de plus de 1° et de moins de 2°, le dégagement de chaleur du calorimètre pendant la combustion a produit les abaissements de température suivants :

de la 3e + 1/2 minute à la 4e minute, $\frac{1}{2}(\alpha_t - 0{,}005)$;
— 4e — 5e — α_t
— 5e — 6e — α_t.

La véritable température maximum est non la température lue directement t_6, mais

$$t_6 + 2\alpha_t + \frac{1}{2}(\alpha_t - 0{,}005).$$

D'autre part, de la troisième minute à la troisième minute et demie, la température t_3 s'est élevée de $\frac{1}{2}\alpha_0$.

La véritable valeur Δ_1 de la différence de température entre la température maximum de l'eau du calorimètre et la température de cette eau au début de la période de combustion, est

$$t_6 + 2\alpha_t + \frac{1}{2}(\alpha_t - 0{,}005) - t_3 - \frac{1}{2}\alpha_0.$$

ou, en posant $\alpha = 2\alpha_t + \frac{1}{2}(\alpha_t - 0{,}005) - \frac{1}{2}\alpha_0$,

$$\Delta_1 = \Delta + \alpha.$$

9. Fin des opérations de la méthode de Mahler. — Lorsque ces observations sont terminées, on ouvre *premièrement* le robinet à pointeau, en second lieu l'obus lui-même.

On lave l'intérieur de l'obus avec un peu d'eau distillée de façon à réunir le liquide acide formé pendant l'explosion. Ce liquide contient un peu d'acide azotique et d'acide sulfurique que l'on dose.

10. Calcul de la puissance calorifique d'un combustible. — Il est maintenant facile de calculer la *puissance calorifique absolue supérieure* $\mathcal{P}$, du combustible étudié.

Soient :

Δ, la différence de température observée;

α, la correction calorimétrique ;

Digitized by Google

P, le poids en eau du calorimètre;
P', le poids en eau de l'obus et de ses accessoires;
p', le poids en grammes de la spirale de fer;
p_1, le poids en grammes de l'acide azotique dosé dans la dissolution;
p_2, le poids en grammes de l'acide sulfurique dissous dosé dans la dissolution;
230 calories-grammes, chaleur de formation de 1 gramme d'acide azotique dilué;
730 calories-grammes, chaleur de formation de 1 gramme d'acide sulfurique dilué;
1.600 calories-grammes, chaleur de combustion de 1 gramme de fer.

La quantité Q de chaleur, exprimée en calories-grammes, dégagée par le poids de ϖ grammes de combustible, est alors donnée par la formule

$$Q = (\Delta + \alpha)(P + P') - [1.600p' + 230p_1 + 730\,p_2].$$

La puissance calorifique $\mathfrak{P}_s$ est alors

$$\mathfrak{P}_s = \frac{Q}{\varpi} \times 1.000 \text{ calories-grammes}$$

ou

$$\mathfrak{P}_s = \frac{Q}{\varpi} \text{ calories-kilogrammes.}$$

Enfin, pour déterminer le poids en eau,

$$P + P',$$

il suffit de brûler dans l'obus un poids connu d'un produit de composition bien fixe et pour lequel on connaisse bien exactement $\mathfrak{P}_s$. On peut, par exemple, faire l'expérience sur 1 gramme de naphtaline ($\mathfrak{P}_s = 9.692$ calories-kilogrammes) ou sur 2 grammes de sucre de canne ($\mathfrak{P}_s = 3.961,7$ calories-kilogrammes).

Il arrive souvent que les conditions expérimentales sont telles que la correction

$$\alpha(P + P') - [1.600p' + 230p_1 + 730p_2]$$

est assez petite par rapport à la quantité à mesurer pour pouvoir être négligée. Dans ce cas, il n'est pas besoin de faire de correction et l'on a

$$\mathfrak{P}_s = \frac{Q}{\varpi} = \frac{\Delta}{\varpi}(P + P').$$

11. **Puissance calorifique absolue inférieure.** — La méthode de Mahler donne la puissance calorifique absolue supérieure d'un combustible. Pour obtenir la puissance calorifique absolue inférieure, il est nécessaire de compléter l'opération précédente en évaluant la quantité d'eau fournie par la combustion de la houille en expérience. Kröcker a disposé pour cela un obus calorimétrique à deux pointeaux qui, chauffé à 105° dans un bain de chlorure de calcium, permet de recueillir et de peser l'eau produite pendant l'expérience calorimétrique et d'en tenir compte. Mais ce dispositif est encore peu répandu. On peut arriver au même résultat en déterminant par une analyse élémentaire la teneur du combustible en hydrogène. Malheureusement une telle opération est peu industrielle,

Digitized by Google

12. Exemple numérique. — Donnons un exemple de la méthode de Mahler pour la détermination de la puissance calorifique absolue d'un combustible.

Le charbon soumis à l'étude a pour composition :

Carbone fixe sans les cendres	86,30
Matières volatiles sans l'eau	10,15
Eau hygroscopique	1,85
Cendres	1,70
	100,00

L'échantillon sur lequel on veut opérer pèse 1 gramme.

Les observations faites pendant l'expérience calorimétrique sont les suivantes.

PÉRIODE PRÉLIMINAIRE		COMBUSTION		PÉRIODE CONSÉCUTIVE	
0 minute	15°,20	3 1/2 minutes	16°,60	7 minutes	18°,32
1 —	15°,20	4 —	17°,92	8 —	18°,30
2 minutes	15°,20	5 —	18°,32	9 —	»
3 —	15°,20	6 —	18°,34 (maximum)	10 —	»
$\alpha_0 = 0$				11 —	18°,26

Pression de l'oxygène : 25 atmosphères.

Abaissement moyen de température pendant la période consécutive : $\alpha_t = \frac{18,34 - 18,26}{5} = 0°,016.$

Différence brute de température :

$$\Delta = 18,34 - 15,20 = 3°,140.$$

Pendant les minutes (4-5), (5-6), les températures moyennes 18°,12 et 18°,33 diffèrent du maximum 18°,34 de moins de 1°; pendant la demi-minute (3 1/2-4), la température moyenne 17°,36 diffère du maximum de plus de 1° et de moins de 2°. La correction calorimétrique se calcule alors de la manière suivante.

Correction (4-5) — (5-6)	$2 \times 0,016 =$	0,032
Correction (3 1/2-4)	$\frac{1}{2}[0,016 - 0,005] =$	0,005
Correction (3-3 1/2)		0,000
	$\alpha =$	0,037

$$\Delta + \alpha = 3,140 + 0,037 = 3°,177 \text{ ou environ } 3°,18.$$

On a d'autre part :

Poids en eau $= P + P' = 2.681$,
Poids du fil de fer $= p' = 0,025$ gramme;

Poids de $Az\,O^3H = p_1 = 0,15$ gramme,
Poids de $SO^4H^2 = p_2 = 0$;

La quantité de chaleur dégagée par la combustion de 1 gramme du combustible étudié a donc pour expression

$$Q = 3,18 \times 2.681 - [1.600 \times 0,025 + 230 \times 0,15] = 8.451 \text{ calories-grammes}$$
$$\text{ou } 8,451 \text{ calories-kilogrammes.}$$

Digitized by Google

La puissance calorifique absolue supérieure $\mathfrak{P}_s$ est alors

$$\mathfrak{P}_s = 1.000Q = 8.451 \text{ calories-kilogrammes.}$$

Remarquons que si l'on ne faisait pas de correction calorimétrique, l'erreur commise serait

$$2.681 \times 0,037 = 99,2.$$

Elle serait donc inférieure au $\frac{1}{80}$ de la quantité à mesurer. C'est une précision qui, dans un grand nombre de cas, pourra sembler suffisante à l'industriel.

13. Méthode calorimétrique de Parr. — Afin d'éviter l'emploi d'une bombe à parois résistantes, et dont la construction doit être particulièrement soignée à cause des pressions élevées produites à son intérieur, *S. W. Parr* (1) emploie le *peroxyde de sodium* pour fournir l'oxygène nécessaire à la combustion du charbon. Comme, d'autre part, l'acide carbonique formé donne un produit solide, le carbonate de sodium, il n'y a pas de pression à l'intérieur de la chambre de combustion, qui peut être alors constituée par un vase en laiton nickelé.

14. Autres méthodes calorimétriques. — D'autres méthodes calorimétriques, présentées comme plus rapides et plus faciles à appliquer, ont été proposées par divers ingénieurs. Citons, notamment, l'appareil de *Wallace*, dérivé de l'appareil *Carpenter*. Cet appareil est formé essentiellement d'un thermomètre à alcool de grandes dimensions, dont le réservoir possède une cavité dans laquelle on peut faire brûler l'échantillon à étudier. L'alcool se dilate dans le tube thermométrique et, de sa dilatation, on peut déduire la quantité de chaleur dégagée dans la combustion. L'instrument a été préalablement gradué au moyen d'un corps dont on connaît la puissance calorifique (2).

D'autres méthodes, proposées par *Lewis Thompson* et par *P. Thompson* (3), nécessitent des corrections qui peuvent atteindre jusqu'à 10 0/0 de la quantité à mesurer, et qui, par conséquent, sont très insuffisantes au point de vue de l'exactitude des mesures.

Enfin, on a proposé de réaliser la détermination de la puissance calorifique des combustibles en faisant brûler ceux-ci sous des chaudières convenablement disposées (4). Mais cette méthode, essayée en 1878 à Münich dans le laboratoire d'analyse des combustibles de l'Association polytechnique, présente de telles causes d'erreurs qu'elle ne s'est pas répandue.

15. Formules donnant la puissance calorifique en fonction de la composition élémentaire. — La méthode calorimétrique que nous venons d'exposer est facile à appliquer même par des personnes étrangères à la chimie. Cependant, dans les

(1) Lunge, *Über das Verfahren von Parr zur Bestimmung des Heizwertes von Brennstoffen* (*Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1901, p. 793-800); Hanns von Jüptner, *Lehrbuch der chemischen Technologie der Energien*, t. I, première partie, p. 104 (Leipzig, Deuticke, 1905).

(2) Wallace, *Calorimètre à alcool pour les essais de combustibles* (*Engineering*, 20 avril 1906; — *l'Eclairage électrique*, t. XLVIII, 13e année, n° 27).

(3) J. Holliday, *Mesure du pouvoir calorifique du charbon* [*Electrical Review* (New-York), 19 mai 1906; — *l'Eclairage électrique*, t. XLVIII, 13e année, n° 27].

(4) Bunte, *Berichte der Heizversuchsstation München*, *Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt*, 1879, p. 117-321; 1880, p. 299; 1881, p. 1. — Muspratt, *Theoretische praktische und analytische Chemie*, 4e édition, t. IV, p. 272. — Fischer, *Chemische Technologie der Brennstoffe*, t. I, p. 164. — Theodor Immenkötter, *Über Heizwertbestimmungen mit besonderer Berücksichtigung gasförmiger und flüssiger Brennstoffe*, Münich, R. Oldenbourg, 1905. Cette méthode est décrite avec figure à l'appui à la page 32 de cet opuscule bien documenté en ce qui concerne l'historique des méthodes d'analyse des combustibles.

Digitized by Google

laboratoires industriels, on est obligé de connaître la composition des charbons que l'on emploie. Des chimistes spéciaux sont employés à ces manipulations, qui sont souvent très délicates. Aussi désire-t-on tirer de ces analyses tous les renseignements relatifs au combustible que l'on étudie et en particulier sa puissance calorifique. De là l'idée de trouver des formules permettant de connaître la puissance calorifique d'un combustible quand on a fait son analyse chimique.

Plusieurs formules ont été proposées ; nous allons les indiquer en faisant remarquer qu'elles ne peuvent donner qu'une évaluation approchée à l'usage des industriels. Au point de vue scientifique, dans l'état actuel de nos connaissances sur la question, on ne conçoit pas une formule générale reliant rigoureusement à leur composition la puissance calorifique de ces substances complexes et excessivement variées que sont les combustibles.

I. — FORMULE DE DULONG

$$\mathcal{P}_s = \frac{1}{100}\left[8.140C + 34.500H - 4.312,5\left\{(O + Az) - 1\right\}\right]$$

$$\mathcal{P}_i = \frac{1}{100}\left[8.140C + 29.000H - 3.625\left\{(O + Az) - 1\right\}\right];$$

C, teneur centésimale en carbone
H, — hydrogène
O, — oxygène
Az, — azote
} Abstraction faite de l'eau hygroscopique et des cendres.

$\mathcal{P}_s$, puissance calorifique absolue supérieure,
$\mathcal{P}_i$, — inférieure.

La formule de Dulong ne donne des résultats suffisants dans la pratique que dans les cas de combustibles d'origine végétale peu oxygénés comme la houille ($O + Az < 15$ environ). Pour les autres combustibles d'origine végétale, elle conduirait à des erreurs d'au moins 10 0/0. Elle est tout à fait inexacte quand on l'applique à des combustibles du genre du pétrole.

II. — FORMULE DE M. MAHLER

$$\mathcal{P}_s = \frac{1}{100}\left[8.140C + 34.500H - 3.000\,(Az + O)\right].$$

Cette formule permet d'apprécier la puissance calorifique d'un combustible courant d'origine végétale à environ 5 à 6 0/0 près de la valeur réelle. Il faut toutefois excepter les houilles extra-hydrogénées du genre cannel-coal et celles qui contiennent de fortes teneurs d'eau hygroscopique et de cendres.

M. Mahler propose même de simplifier cette formule en posant

$$O + Az = 100 - C - H.$$

La formule devient alors

$$\mathcal{P}_s = 111,40C + 375H - 3.000,$$

qui est suffisante dans la plupart des cas.

C'est à cette formule que nous donnerons la préférence.

Digitized by Google

III. — FORMULE ALLEMANDE

$$\mathcal{P}_l = 8.100C + 29.000\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2.500S - 600W.$$

C, H, O sont les poids de carbone, d'hydrogène et d'oxygène contenus dans 1 kilogramme de combustible ;

S, poids de soufre contenu dans 1 kilogramme de combustible;

W, poids d'eau hygroscopique contenu dans 1 kilogramme de combustible.

D'après L.-C. Wolff (1), les différences données par cette formule, par rapport aux déterminations calorimétriques, sont les suivantes.

	Pour 100
Houille	± 2
Lignites	± 5
Tourbe	± 8
Cellulose	— 8
Bois	± 12

IV. — FORMULE DE M. GOUTAL

D'après M. A. Witz (2), cette formule donne d'assez bons résultats et peut être employée quand on n'a pas de calorimètre.

M. Goutal détermine la quantité C de carbone fixe (carbone cokifiable) et la quantité A de produits volatils contenus dans 1 kilogramme de combustible.

Il applique alors la formule

$$\mathcal{P}_s = 8.150C + mA,$$

dans laquelle m est un paramètre variable égal à

13.000, si A est compris entre 0,02 et 0,15
10.000, pour une valeur de A variant de 0,15 à 0,30;
9.500, — 0,30 à 0,35;
9.000, — 0,35 à 0,40.

M. *D. de Paepe* (3) a proposé de remplacer la formule de M. Goutal par la suivante.

$$\mathcal{P}_s = 8.150C + m \times \frac{100A}{A + C}.$$

16. Détermination de la teneur d'un charbon en matières volatiles et de sa teneur en cendres. — Pour déterminer la teneur A d'un charbon en matières volatiles, il faut procéder de la manière suivante.

1° *Déterminer le degré d'humidité ou la teneur du charbon en eau hygroscopique.*

On prend 3 grammes environ de la substance pulvérisée et bien mélangée qu'on place dans une capsule plate en platine. On fait sécher dans un bain d'air maintenu à 105° C. environ pendant une heure. On laisse refroidir dans un bon dessiccateur. On pèse. La diffé-

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XLI, p. 763-768.
(2) A. Witz, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. I, p. 183 ; Goutal, *Revue de Chimie industrielle*, t. VII, n° 75.
(3) *Bulletin de l'Association belge des chimistes.*

Digitized by Google

rence de poids de la capsule avant et après l'opération donne la quantité d'eau hygroscopique contenue dans l'échantillon étudié.

M. Mahler, dans son remarquable mémoire sur l'étude des combustibles, indique le procédé suivant pour rechercher l'*eau hygroscopique*.

On prend 5 grammes de combustible que l'on place dans un tube mis en communication avec la trompe à mercure. On chauffe le tube progressivement jusqu'à 110° environ. On détache de temps en temps le tube de la trompe pour noter son changement de poids.

Dans les laboratoires imparfaitement outillés, on peut obtenir sensiblement les mêmes résultats en chauffant 2 ou 3 grammes de houille dans un petit tube de 8 millimètres de diamètre environ, qui ne laisse au contact direct de l'air qu'une faible surface de charbon. L'opération exige environ deux heures.

Ce mode opératoire est indispensable avec certains charbons qui s'oxydent à l'air dès la température de 100°.

2° *Déterminer la teneur en matières volatiles.* — On prend 1 ou 2 grammes de combustible que l'on chauffe au rouge vif, sur un fort brûleur Bunsen, à l'abri de l'air dans un creuset en platine fermé. La flamme doit être réductrice et envelopper entièrement le creuset. Le couvercle du creuset doit être à cheminée pour faciliter le départ et la combustion des gaz. On laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse. La différence de poids de la capsule avant et après l'opération donne la somme de la teneur en humidité et de la teneur en matières volatiles. En retranchant de cette somme la teneur en humidité, on a la quantité A ou la teneur en matières volatiles.

Le résidu qui reste dans le creuset représente le coke, c'est-à-dire la somme du carbone fixe et des cendres.

Si donc on veut avoir la teneur C en carbone fixe, il faut déterminer la teneur en cendres.

3° *Détermination de la teneur en cendres.* — On incinère 10 grammes de ce coke très sec (1) dans un creuset ouvert, placé sur une flamme oxydante ; on se sert aussi fort commodément d'un moufle chauffé à blanc. Il faut opérer dans un creuset plat ou très évasé, chauffer graduellement pour éviter les projections et remuer souvent à la spatule de platine. L'opération est terminée quand on ne voit plus de points noirs sur la cendre; s'ils persistaient, on les ferait disparaître en arrosant avec une solution d'azotate d'ammoniaque ; on peut enfin humecter avec quelques gouttes d'alcool.

On laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse(2). La différence entre le poids trouvé et le poids de la capsule vide donne la quantité de cendres contenue dans les 10 grammes de coke employé. On a par suite facilement la teneur en cendres du combustible étudié.

Quant à l'analyse complète d'un combustible, c'est-à-dire au dosage complet du carbone, de l'hydrogène, du soufre, de l'azote et de l'oxygène, son étude nous entraînerait à des développements un peu étrangers au sujet actuellement traité. La méthode à suivre n'est autre que l'analyse d'une substance organique et se trouve dans tous les traités de chimie organique.

(1) On peut partir directement du combustible desséché comme nous l'avons indiqué plus haut.
(2) Il est bon de reporter au moufle pendant cinq minutes, de faire refroidir et de peser de nouveau, afin de voir si les deux pesées donnent des résultats identiques.

Digitized by Google

II

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE DES DIVERS COMBUSTIBLES

1. Bois. — Nous allons maintenant passer à la description sommaire des principaux combustibles.

Le *bois* est composé de cellulose $(C^6H^{10}O^5)^p$, d'eau et de matières inorganiques qui constituent les cendres.

Chauffé à l'air et complètement sec, le bois s'enflamme à 300° environ. Les *produits de la combustion complète* sont :

Acide carbonique, eau, azote, matières minérales.

Les *produits de la combustion incomplète* sont :

Acide pyroligneux, huiles empyreumatiques, goudrons et composés ammoniacaux dont l'ensemble forme la fumée.

Le bois est d'autant plus inflammable qu'il est moins dense; les bois blancs, poreux, légers, sont plus inflammables que les bois denses.

Les bois fraîchement abattus contiennent 50 0/0 de leur poids d'eau; séchés à l'air et décortiqués, de 15 à 25 0/0; non décortiqués, de 2 à 3 0/0. Un bon séchage par la chaleur doit être fait vers 120° C.

Les tableaux II et III donnent des renseignements sur les poids spécifiques, la composition et les puissances calorifiques absolues de quelques sortes de bois.

2. Tourbe. — La *tourbe* est une substance brune ou noirâtre, terne et spongieuse, combustible quand elle est séchée, et répandant alors une odeur complexe assez désagréable.

TABLEAU II

POIDS SPÉCIFIQUES DE DIVERSES SORTES DE BOIS [1]

	BOIS VERT	SÉCHÉ A L'AIR	DESSÉCHÉ	COMPLÈTEMENT SEC	CARBONISÉ
Chêne	1,075	0,985	0,804	0,766	0,387
Frêne	0,879	0,830	0,771	0,746	0,371
Hêtre	1,029	0,816	0,747	0,700	0,319
Sapin	0,873	0,783	0,678	0,662	0,351
Orme	0,917	0,750	0,635	0,595	0,284
Erable	0,921	0,704	0,637	0,604	0,247
Peuplier	0,881	0,637	0,515	0,463	0,129
Pin cultivé	0,804	0,588	0,529	0,510	0,214
Tilleul	0,769	0,581	0,505	0,484	0,240
Mélèze	0,763	0,611	0,607	0,560	0,238
Pin sauvage	0,527	0,493	0,487	0,457	0,193

La tourbe est le résidu de la décomposition lente, sous l'action de la chaleur et de l'humidité, de végétaux marécageux.

Le poids spécifique des tourbes varie beaucoup suivant leur degré de dessiccation plus

[1] H. Rodier, *Annuaire technique*, — *Combustibles.*

Digitized by Google

ou moins avancé, la nature des végétaux générateurs et la partie de la couche d'où provient l'échantillon examiné. Les variétés les plus fréquentes pèsent de 170 à 200 kilogrammes le mètre cube ; toutefois il y a des tourbes qui pèsent jusqu'à 300 kilogrammes le mètre cube.

La tourbe *mousseuse* est brunâtre ; les végétaux qui la constituent sont incomplètement décomposés ; elle est légère et poreuse.

La tourbe *feuilletée* est de nuance plus foncée; sa décomposition est plus avancée, quoique encore imparfaite.

La tourbe *noire* ou compacte est la meilleure et la plus utilisable.

TABLEAU III

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE ABSOLUE DE DIVERSES SORTES DE BOIS

(DESSICCATION A 115° C.) (1)

	C	H	Az	O	CENDRES	PUISSANCE CALORIFIQUE absolue supérieure
	pour 100	pour 100	pour 100	pour 100	pour 100	calories-kilog.
Chêne	50,22	5,99	0,09	43,42	0,28	4.250
Frêne	49,77	6,26	0,07	43,37	0,53	4.150
Charme	49,48	6,17	0,06	43,77	0,52	4.160
Hêtre	49,09	6,11	0,10	44,22	0,48	4.150
Bouleau	48,88	6,06	0,10	44,67	0,29	4.200
Sapin	50,36	5,92	0,05	43,39	0,28	»
Sapin rouge	50,31	6,20	0,04	43,08	0,37	4.420
			Az + O	EAU HYGROSCOPIQUE		
Bois sapin de Norvège (2)	47,37	5,58	39,78	6,94	0,33	4.477
Bois de chêne de Lorraine (2)	46,57	5,43	40,33	6,92	0,75	4.329

Ces diverses sortes de tourbe sont généralement superposées, la tourbe noire étant la couche la plus profonde. On emploie encore dans la pratique, les désignations de *tourbe à la bêche*, *à la drague*, *moulée* ou *pressée*, suivant le mode d'exploitation de ce produit.

On trouve d'importantes tourbières en France, Belgique, Hollande, Allemagne et Irlande.

La tourbe contient environ 80 0/0 d'eau ; le séchage prolongé à l'air lui fait perdre 45 à 50 0/0 de cette eau. Ce produit est moins combustible que le bois. Lorsque la teneur des cendres dépasse 20 0/0 du poids de la tourbe, les frais d'extraction ne sont plus couverts.

La *puissance calorifique* des diverses espèces de tourbe est :

	Calories-kilog.
Tourbe moyenne de tous les pays	3.250
Tourbe de bonne qualité (18 à 25 0/0 d'eau)	4.000
Tourbe de Bresle (noire) (18 à 20 0/0 d'eau)	4.775

Le tableau IV indique la composition de quelques sortes de tourbes sèches.

(1) H. Rodier, *Annuaire technique*, — *Combustibles*.
(2) Mahler, *Bulletin de la Société d'Encouragement*, p. 354.

Digitized by Google

TABLEAU IV

COMPOSITION DE QUELQUES SORTES DE TOURBES SÈCHES (1)

LIEU D'ORIGINE	COMPOSITION DE LA TOURBE SÈCHE					TENEUR EN EAU de la tourbe desséchée à l'air	POIDS spécifique	PROPRIÉTÉS DE LA TOURBE	OBSERVATEUR
	C	H	Az	O	CENDRES				
	p. 100	p. 100	p. 100		p. 100	p. 100			
Cappoge (Irlande)	51,05	6,85	39,55		2,35		»	»	Kane.
Kulbeggen (Irlande)	61,04	6,87	30,26		1,83	10 à 25	»	»	id.
Philipstown (Irlande)	58,69	6,97	1,45	27,90	1,99		0,405	Rouge brun.	id.
Wood of Allen (Irlande)	61,02	5,77	0,81	32,40	7,90		0,619 à 0,702	Brun noir, dure, compacte, pesante.	id.
Vulcaire, près Abbeville	57,03	5,63	2,09	29,67	5,58	»	»	Brun foncé, sans résidus de plantes.	Regnault.
Lony —	58,09	5,93	31,37		4,61	»	»	id.	id.
Framont —	57,79	6,11	32,77		3,33	»	»	»	id.
Rammstein (Palatinat)	62,15	6,29	1,66	27,20	2,70	16,7	»	Dure et lourde, sans résidus de plantes.	Walz.
Steinwenden (Palatinat)	57,50	6,90	1,75	31,81	2,04	16,0	»	Un peu plus légère.	id.
Niedermoor (Palatinat)	47,90	5,80	42,80		3,50	17,0	»	Masse feutrée.	id.
Prusse	50,13 à 55,01	4,20 à 5,36	31,14 à 35,24		8,20 à 21,17	15,17 à 21,70	»	»	»
Frise	57,16	5,65	33,39		3,80	»	»	Compacte.	Mulder.
—	59,86	5,52	33,71		0,91	»	»	Légère.	id.
Hollande	50,85	4,64	30,25		14,26	»	»	»	id.
Brême	57,84	5,85	0,95	32,76	2,60	»	»	Brun noir, compacte et lourde.	id.
—	57,03	5,56	1,67	34,15	1,59	»	»	id.	id.
Schopfloch (Würtemberg)	53,59	5,60	2,71	30,32	7,78	20,0	»	Brun noir, compacte, couche inférieure.	Bräuninger.
Sindelfingen (Würtemberg)	45,44	5,28	1,46	26,21	21,61	18,0	»	Brun noir, compacte, couche moyenne.	id.
Bade	46,75 à 60,79	3,57 à 7,01	0,67 à 6,33(?)	26,87 à 49,01	0,89 à 14,76	11,77 à 18,55	»	»	Nessler. et Petersen
Berlin, Havelnieder	50,70	4,80	34,64		9,86	15,87	»	Lourde, compacte, brune.	Jaeckel.
—	49,76	4,95	38,69		6,60	17,97	»	Légère, spongieuse.	id.
Hambourg, Moor	56,06	5,21	36,43		2,30	18,26	»	Rouge brun, lourde.	id.
Grünewald	49,88	6,50	1,16	38,74	3,72	»	»	»	Websky.
Harz	50,86	5,80	0,77	42,00	0,57	»	»	»	id.
—	62,54	6,81	1,41	28,15	1,09	»	»	»	id.
Limm	59,47	6,52	2,51	12,97	18,53	»	»	»	id.
Hundsmühl	59,70	5,70	31,68		2,92	»	»	»	Kraut.
Haspelmoor	53,62	5,20	32,75		8,43	»	»	Tourbe pressée.	id.
Forges de Neustädt	59,61	5,43	31,64		3,32	10,31	»	id.	id.
Montanger	54,01	4,84	28,56		12,59	17,11	»	Tourbe préparée (procédé Challeton).	id.
Neufchâtel	46,78	4,38	28,56		20,28	15,72	»	id.	id.
Kolbermoor	56,17	5,92	33,70		4,21	14,88	»	Tourbe pressée.	Wagner.
Suisse	40,10	4,53	47,50		7,87	23,17	»	id.	Goppelsröder.
Schonen	51,38	6,49	1,68	35,43	5,02	»	1,07	Très compacte.	Jacobsen.

(1) D'après Hanns von Jüptner, *Lehrbuch der chemischen Technologie der Energien*, t. I, 1re partie, p. 181.

Digitized by Google

3. Lignite ou houille brune (Braunkohle). — Le *lignite* représente l'un des premiers degrés des transformations qui conduisent à la formation du charbon. Il résulte le plus souvent de la transformation à l'abri de l'air d'arbres riches en résines; les couches les plus anciennes proviennent principalement d'arbres à feuilles persistantes (pins, sapins, conifères); les couches plus récentes sont formées d'arbres à feuilles caduques. Souvent la substance a conservé, jusque dans les moindres détails, sa texture végétale; souvent aussi elle est devenue compacte et brillante comme le charbon de terre ou pulvérulente comme une terre tourbeuse. Les variétés compactes et bien homogènes sont recherchées comme objet de parure et portent le nom de *jais* ou *jayet*. Parmi les variétés pulvérulentes figure la *terre d'ombre* employée en peinture.

Le poids spécifique varie entre 0,80 et 1,80 (pour les charbons très riches en cendres); habituellement il est compris entre 1,20 et 1,50.

Zinken [1] a proposé de classer de la manière suivante les diverses variétés de lignites.

1° *Lignite commun* (*Gemeine Braunkohle*). — Compact, en masses amorphes, plus ou moins dur; cassure plane ou conchoïde, mate ou faiblement brillante, d'une couleur allant du brun clair au brun noir. Il représente le terme de passage entre le lignite terreux (*Erdkohle*) et le pitch-coal ou brown-coal (*Pechkohle*); il est sous forme de *gaillettes* ou de *menus*.

2° *Lignite terreux* (*Erdige Braunkohle*). — Plus ou moins facile à casser, couleur allant du brun clair au brun sombre, cassure mate et non plane, rugueux au toucher et sans structure organique. Les variétés claires sont à plus longue flamme que les variétés sombres.

On distingue diverses sortes de lignite terreux.

a) *Schwehlkohle*, employé pour la distillation;

b) *Schmierkohle* (Saxe);

c) *Aschengrund*, employé à Cologne comme engrais;

d) *Kölnische Umbra* ou *Terre de Cologne* (*Kölnische Erde*), employée en peinture;

e) *Russkohle*, en Bohême;

3° *Lignite proprement dit ou houille brune* (*Lignit, faserige Braunkohle*). — Masses de bois plus ou moins fossiles, couleur allant du brun jaune au brun foncé, dureté 1 à 2 (échelle de Mohr), poids spécifique de 0,5 à 1,4, cassure ayant le caractère du bois.

Les variétés sont:

a) *Bastkohle;*

b) *Nadelkohle*.

4° *Lignite feuilleté* (*Schieferkohle*). — D'aspect schisteux, dense, couleur allant du brun noir au noir.

5° *Papierkohle*. — Couches minces, élastiques; couleur allant du gris au brun foncé.

6° *Blattkohle*. — Formé de feuilles de plantes minces superposées les unes aux autres.

7° *Schilfkohle*. — Formé de couches striées, comme si elles étaient constituées par des roseaux serrés les uns contre les autres.

8° *Lignite limoneux* (*Moorkohle*). — En masses lamellaires, ne présentant pas la texture du bois. Souvent spongieux et friable; couleur allant du brun clair au noir de jais. Poids spécifique = 1,2 à 1,3.

9° *Pechkohle*. — En masses lamellaires, cassant, rarement très dur; couleur allant du brun noir au noir de jais; dureté = 2 à 3.

[1] Hanns von Jüptner, *loc. citat.*, p. 183.

Digitized by Google

10° *Lignite brillant* (*Glanzkohle*). — Cassure conchoïdale, très brillant, noir foncé. Très dur : dureté = 2,5 à 3 ; poids spécifique = 1,2 à 1,5.

11° *Gagat* (*du fleuve Gages en Lycie*). — Compact, à cassure conchoïdale, absolument noir. C'est le *jais* ou *jayet*.

La composition moyenne du lignite est la suivante.

	Pour 100
Carbone	50 à 65
Eau chimiquement combinée	20 à 30
Eau hygroscopique	10 à 25
Cendres	5 à 10

La teneur en azote atteint rarement 1 0/0.

La teneur en eau est très variable ; elle se monte :

	Pour 100
Pour la houille récemment extraite à	30 ou 40
et parfois à	60
Pour le combustible séché à l'air à	10 ou 30

Ce combustible, complètement desséché à 100°, réabsorbe rapidement à l'air environ 10 à 15 0/0 d'humidité.

La teneur en cendres varie entre 1 et 50 0/0.

La puissance calorifique absolue supérieure des lignites varie de 3.700 à 6.000 calories-kilogrammes.

Le tableau V donne la composition de quelques variétés de lignites.

Digitized by Google

TABLEAU V

COMPOSITION DE DIVERSES ESPÈCES DE LIGNITES

(D'après Jüptner, *Lerhbuch der chemischen Technologie der Energien*, t. I, 1re partie, p. 186)

LIEU D'ORIGINE	C	H	O + Az	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT en COKE	PRODUITS VOLATILS abstraction faite de l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
A. — AUTRICHE-HONGRIE										
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
a) *Basse-Autriche.*										
Oberwölling, lignite brillant noir	55,15	»	»	4,70	»	10,24	»	»	env. 4.000	Schwackhöfer.
id.	56,78	5,00	25,86	3,91	»	8,45	»	»	»	Scharbenheimer et Schiff.
Grillenberg	42,00	3,2	16,8	1,00	29,00	8,00	»	»	env. 3.000	»
b) *Haute-Autriche.*										
Lignite de Trauntal	39,58	3,19	16,80	»	32,26	8,17	»	»	3.300	Schwackhöfer.
id.	46,7	3,5	25,5	»	15,00	9,3	»	»	»	C. von Hauer.
c) *Styrie.*										
Fohnsdorf	»	»	»	»	10,95	4,92	63,32	25,73	»	Jüptner.
— menus	58,25	3,55	17,24	1,26	11,30	8,40	»	»	5.180	»
Leoben, Seegraben	»	»	»	»	10,77	4,34	59,16	30,07	»	Jüptner.
— lignite brillant noir	52,2 à 61,7	3,5 à 4,2	34,1 à 19,1	0,2 à 0,5	5,00 à 12,5	5,0 à 12,0	»	»	5.500 à 6.000	Schwackhöfer.
Göriach	44,87	3,25	16,76	1,32	24,6	9,2	»	»	3.780	»
Zangtal	»	»	»	»	27,91	5,41	»	»	3.645	»
Rosental, puits Hochegger	57,93	4,34	28,54	2,38	»	6,81	»	»	5.000	Schwarz.
Schaflos, récemment extrait	56,79	3,59	31,20	»	»	7,12	»	»	4.630	id.
— extrait depuis 3 mois	58,87	4,47	27,82	»	»	8,14	»	»	5.100	id.
Köflach, fosse Rendel	42,87 à 51,33	3,65 à 4,03	21,57 à 17,99	0,16 à 0,20	29,03 à 21,68	2,72 à 4,77	»	»	3.660 à 4.490	Schwackhöfer.
— couche Francisci	43,02	3,46	16,38	»	26,75	10,39	»	»	3.860	id.
— Piberstein, Ire gaillettes	53,9	4,2	18,7	»	21,9	1,3	»	»	4.900	id.
— — IIe —	45,9	3,6	16,4	»	30,00	4,1	»	»	4.140	id.
— — petites gaillettes	42,8	3,5	14,3	1,0	30,8	7,6	»	»	3.845	id.

Digitized by Google

TABLEAU V (*Suite*)

LIEU D'ORIGINE	C	H	O + Az	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT en COKE	PRODUITS VOLATILS abstraction faite de l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
Höflach, lignite proprement dit	»	»	»	»	19,00	3,60	41,30	39,70	»	Jüptner.
Radldorf	64,7	3,6	6,7	1,8	5,00	18,2	»	»	6.000	»
Trifail, gaillettes	49,95	3,67	16,16	1,64	20,15	8,43	»	»	4.390	Schwackhöfer.
— tout-venant	46,43	3,21	15,4	1,46	23,61	9,89	»	»	4.000	id.
— menu	44,77	3,33	16,32	1,26	22,46	11,82	»	»	3.890	id.
— fin-menu	43,04	3,27	16,31	1,22	26,20	9,96	»	»	3.700	id.
Altenmarkt, 1re qualité	66,42	4,88	18,58	»	8,10	2,02	»	»	»	R. Schöffel.
d) *Tyrol.*										
Borgo	50,10	3,45	17,36	3,90	5,99	19,20	»	»	4.710	Schwackhöfer.
Kössen	48,85	3,58	19,61	3,13	16,05	8,78	»	»	4.410	»
e) *Carinthie.*										
Wiesenau	63,37	5,70	24,13	»	»	6,80	»	»	6.050	Schwackhöfer.
Lavanttal	44,00	3,40	15,61	»	26,53	10,46	»	»	3.825	R. Schöffel.
Liescha	65,61	4,80	18,43	»	»	11,16	»	»	6.269	»
Sonnberg, desséché à l'air	50,22	3,94	12,30	4,26	13,34	15,94	»	»	4.657	»
f) *Carniole.*										
Bella-Möttnig	»	»	»	0,8 à 2,3	13,00 à 17,00	5,00 à 15,00	»	»	3.650 à 5.000	»
g) *Istrie.*										
Carpano-Vines	61,26 à 63,79	4,04 à 4,56	11,67 à 7,72	7,89 à 7,25	2,02 à 2,23	13,12 à 14,45	»	»	5.640 à 6.160	»
h) *Dalmatie.*										
Strmizza	53,88	3,23	14,10	1,39	1,55	25,85	»	»	4.721	Muséum technique de l'Industrie à Vienne
Siverié	49,74	3,52	20,82	4,64	15,30	5,98	»	»	4.580	Schwackhöfer.
Velusié, desséché à l'air	56,43	4,90	28,61	3,57	2,85	3,64	»	»	4.830	Muséum technique de l'Industrie à Vienne
i) *Bohême.*										
Friedland	55,0	5,5	34,0	»	»	5,5	»	»	4.000	»

Digitized by Google

Mar. Schein, puits Austro-Teuton	48,0	3,7	15,01	»	26,25	7,04	»	»	4.300	Schwackhöfer.
Teplitz, puits Walzwerk	44,93	3,21	13,15	»	34,28	4,43	»	»	3.925	id.
— puits François-Joseph	51,35	3,71	16,03	»	25,59	3,32	»	»	4.550	id.
Dux, puits Frauenlob, petites gaillettes	49,62	3,77	13,65	0,93	25,24	6,79	»	»	4.630	id.
Bilin-Schwarz, petites gaillettes	48,71	3,67	14,97	0,95	26,15	5,55	»	»	4.400	id.
Ossegg, puits Alexandre, petites gaillettes	62,71	4,40	15,00	»	16,73	1,16	»	»	5.750	id.
Bruch	58,78	4,63	14,97	»	20,15	1,47	»	»	5.470	id.
Brüx, puits Anna	51,05	3,92	14,42	0,94	24,16	5,51	»	»	4.700	id.
Seestadt, puits Elly, lignite brillant	65,62	5,86	13,97	1,28	10,52	2,75	»	»	6.570	id.
Komotau-Saaz, puits Humboldt	45,34	3,23	13,55	»	33,34	4,54	»	»	3.970	id.
Chodau-Münchhof	52,50	4,70	13,7	»	23,10	7,0	»	»	5.000	»
Mine Jean, près de Wintersgrün	59,7	7,5	12,3	1,1	11,0	8,4	»	»	6.200	»
Mine Frédéric-Anna, près de Grasseth	46,3	3,3	11,0	0,5	35,5	3,4	»	»	4.144	»
Zieditz, lignite ordinaire	56,4	5,6	10,9	0,9	21,9	4,3	»	»	5.650	»
— Pechkohle	73,4	8,6	9,2	3,5	2,8	2,5	»	»	8.000	»
Haberspirk, houille à gaz	60,9	6,5	10,8	1,6	16,6	3,6	»	»	6.260	»
— lignite récent	44,8	3,9	11,2	0,7	33,9	5,5	»	»	4.140	»
k) *Galicie.*										
Nowosielica-Dzurow	53,21	3,79	20,30	»	14,60	8,10	»	»	4.600	»
l) *Moravie.*										
Gaya, bois bitumineux	34,92	2,47	12,35	2,83	29,87	17,56	»	»	3.100	»
— Schwehlkohle	80,73	2,69	8,63	0,30	2,05	5,60	»	»	7.000	»
m) *Hongrie.*										
Salgó-Tarjáner	51,29	3,75	14,49	0,94	11,25	18,28	»	»	4.950	Schwackhöfer.
Ajker	45,33	2,68	13,51	1,85	16,11	20,52	»	»	4.160	id.
B. — ALLEMAGNE										
Lignite gras de Ellbogen	77,64	7,85	14,51	»	»	»	26,0	»	»	Regnault.
id.	76.58	8,27	15,15	»	»	»	23,12	»	»	Scheurer-Kestner.
Meissner, lignite terreux	86,56	4,07	9,37	»	»	»	»	»	»	Kühnert.
— Pechkohle terreux	63,95	5,40	30,65	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl —	67,71	4,86	27,43	»	»	»	»	»	»	id.
Habichtswald —	65,16	5,14	29,70	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl, lignite brillant	73,91	5,40	20,69	»	»	»	»	»	»	id.
Habichtswald, lignite terreux	63,47	4,93	31,60	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl, lignite terreux (couche inférieure)	67,07	5,20	27,73	»	»	»	»	»	»	id.
— — (couche moyenne)	67,60	4,96	27,44	»	»	»	»	»	»	id.
Stillberg, lignite terreux	66,11	6,05	27,84	»	»	»	»	»	»	id.
Helmstedt (fosse Prince-Guillaume), lignite terreux	73,49	5,30	21,21	»	»	»	»	»	»	Varentrapp.
Helmstedt, lignite terreux (autre fosse)	73,62	7,67	18,71	»	»	»	»	»	»	id.
Schöningen — —	69,55	5,57	24,88	»	»	»	»	»	»	id.
id.	70,08	4,92	25,0	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl, lignite proprement dit	59,20	6,03	34,77	»	»	»	»	»	»	Kühnert.
Cologne —	66,40	5,21	28,39	»	»	»	»	»	»	Regnault.

Digitized by Google

TABLEAU V (*Suite*)

LIEU D'ORIGINE	C	H	O + Az	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT en COKE	PRODUITS VOLATILS abstraction faite de l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
Höflach, lignite proprement dit	»	»	»	»	19,00	3,60	41,30	39,70	»	Jüptner.
Radldorf	64,7	3,6	6,7	1,8	5,00	18,2	»	»	6.000	»
Trifail, gaillettes	49,95	3,67	16,16	1,64	20,15	8,43	»	»	4.390	Schwackhöfer.
— tout-venant	46,43	3,21	15,4	1,46	23,61	9,89	»	»	4.000	id.
— menu	44,77	3,33	16,32	1,26	22,46	11,82	»	»	3.890	id.
— fin-menu	43,04	3,27	16,31	1,22	26,20	9,96	»	»	3.700	id.
Altenmarkt, 1re qualité	66,42	4,88	18,58	»	8,10	2,02	»	»	»	R. Schöffel.
d) *Tyrol.*										
Borgo	50,10	3,45	17,36	3,90	5,99	19,20	»	»	4.710	Schwackhöfer.
Kössen	48,85	3,58	19,61	3,13	16,05	8,78	»	»	4.410	»
e) *Carinthie.*										
Wiesenau	63,37	5,70	24,13	»	»	6,80	»	»	6.050	Schwackhöfer.
Lavanttal	44,00	3,40	15,61	»	26,53	10,46	»	»	3.825	R. Schöffel.
Liescha	65,61	4,80	18,43	»	»	11,16	»	»	6.269	»
Sonnberg, desséché à l'air	50,22	3,94	12,30	4,26	13,34	15,94	»	»	4.657	»
f) *Carniole.*										
Bella-Möttnig	»	»	»	0,8 à 2,3	13,00 à 17,00	5,00 à 15,00	»	»	3.650 à 5.000	»
g) *Istrie.*										
Carpano-Vines	61,26 à 63,79	4,04 à 4,56	11,67 à 7,72	7,89 à 7,25	2,02 à 2,23	13,12 à 14,45	»	»	5.640 à 6.160	»
h) *Dalmatie.*										
Strmizza	53,88	3,23	14,10	1,39	1,55	25,85	»	»	4.721	Muséum technique de l'Industrie à Vienne
Siverié	49,74	3,52	20,82	4,64	15,30	5,98	»	»	4.580	Schwackhöfer.
Velusié, desséché à l'air	56,43	4,90	28,61	3,57	2,85	3,64	»	»	4.830	Muséum technique de l'Industrie à Vienne
i) *Bohême.*										
Friedland	55,0	5,5	34,0	»	»	5,5	»	»	4.000	»

Digitized by Google

Mar. Schein, puits Austro-Teuton	48,0	3,7	15,01	»	26,25	7,04	»	»	4.300	Schwackhöfer.
Teplitz, puits Walzwerk	44,93	3,21	13,15	»	34,28	4,43	»	»	3.925	id.
— puits François-Joseph	51,35	3,71	16,03	»	25,59	3,32	»	»	4.550	id.
Dux, puits Frauenlob, petites gaillettes	49,62	3,77	13,65	0,93	25,24	6,79	»	»	4.630	id.
Bilin-Schwarz, petites gaillettes	48,71	3,67	14,97	0,95	26,15	5,55	»	»	4.400	id.
Ossegg, puits Alexandre, petites gaillettes	62,71	4,40	15,00	»	16,73	1,16	»	»	5.750	id.
Bruch	58,78	4,63	14,97	»	20,15	1,47	»	»	5.470	id.
Brüx, puits Anna	51,05	3,92	14,42	0,94	24,16	5,51	»	»	4.700	id.
Seestadt, puits Elly, lignite brillant	65,62	5,86	13,97	1,28	10,52	2,75	»	»	6.570	id.
Komotau-Saaz, puits Humboldt	45,34	3,23	13,55	»	33,34	4,54	»	»	3.970	id.
Chodau-Münchhof	52,50	4,70	13,7	»	23,10	7,0	»	»	5.000	»
Mine Jean, près de Wintersgrün	59,7	7,5	12,3	1,1	11,0	8,4	»	»	6.200	»
Mine Frédéric-Anna, près de Grasseth	46,3	3,3	11,0	0,5	35,5	3,4	»	»	4.144	»
Zieditz, lignite ordinaire	56,4	5,6	10,9	0,9	21,9	4,3	»	»	5.650	»
— Pechkohle	73,4	8,6	9,2	3,5	2,8	2,5	»	»	8.000	»
Haberspirk, houille à gaz	60,9	6,5	10,8	1,6	16,6	3,6	»	»	6.260	»
— lignite récent	44,8	3,9	11,2	0,7	33,9	5,5	»	»	4.140	»
k) *Galicie.*										
Nowosielica-Dzurow	53,21	3,79	20,30	»	14,60	8,10	»	»	4.600	»
l) *Moravie.*										
Gaya, bois bitumineux	34,92	2,47	12,35	2,83	29,87	17,56	»	»	3.100	»
— Schwehlkohle	80,73	2,69	8,63	0,30	2,05	5,60	»	»	7.000	»
m) *Hongrie.*										
Salgó-Tarjáner	51,29	3,75	14,49	0,94	11,25	18,28	»	»	4.950	Schwackhöfer.
Ajker	45,33	2,68	13,51	1,85	16,11	20,52	»	»	4.160	id.
B. — **ALLEMAGNE**										
Lignite gras de Ellbogen	77,64	7,85	14,51	»	»	»	26,0	»	»	Regnault.
id.	76.58	8,27	15,15	»	»	»	23,12	»	»	Scheurer-Kestner.
Meissner, lignite terreux	86,56	4,07	9,37	»	»	»	»	»	»	Kühnert.
— Pechkohle terreux	63,95	5,40	30,65	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl —	67,71	4,86	27,43	»	»	»	»	»	»	id.
Habichtswald —	65,16	5,14	29,70	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl, lignite brillant	73,91	5,40	20,69	»	»	»	»	»	»	id.
Habichtswald, lignite terreux	63,47	4,93	31,60	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl, lignite terreux (couche inférieure)	67,07	5,20	27,73	»	»	»	»	»	»	id.
— — (couche moyenne)	67,60	4,96	27,44	»	»	»	»	»	»	id.
Stillberg, lignite terreux	66,11	6,05	27,84	»	»	»	»	»	»	id.
Helmstedt (fosse Prince-Guillaume), lignite terreux	73,49	5,30	21,21	»	»	»	»	»	»	Varentrapp.
Helmstedt, lignite terreux (autre fosse)	73,62	7,67	18,71	»	»	»	»	»	»	id.
Schöningen — —	69,55	5,57	24,88	»	»	»	»	»	»	id.
id.	70,08	4,92	25,0	»	»	»	»	»	»	id.
Ringkuhl, lignite proprement dit	59,20	6,03	34,77	»	»	»	»	»	»	Kühnert.
Cologne —	66,40	5,21	28,39	»	»	»	»	»	»	Regnault.

Digitized by Google

TABLEAU V (*Suite*)

LIEU D'ORIGINE	C	H	O + Az	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT en COKE	PRODUITS VOLATILS abstraction faite de l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
Laubach (Hesse-Darmstadt), lignite proprement dit	57,62	6,06	36,32	»	»	»	»	»	»	Liebig.
Lignite de la Saxe (Greppen)	43,37	3,25	17,54	1,93	22,83	11,06	»	»	»	Bunte.
— (après distillation à l'abri de l'air)	27,45	»	»	»			38,51	38,64	»	id.
Lignite de la Saxe (Alfred)	41,41	3,29	9,84	2,12	36,26	7,08	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	23,27	»	»	»			30,35	33,39	»	id.
Lignite de la Saxe (Lützendorf)	31,12	2,79	9,42	3,67	47,45	5,35	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	19,63	»	»	»			24,98	27,57	»	id.
Lignite (puits Joseph à Schwanenkirchen)	28,80	2,54	9,55	2,87	40,35	15,89	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	18,11	»	»	»			34,00	25,65	»	id.
C. — SUISSE										
Usnach, lac de Zürich	57,29	5,83	36,88	»	»	»	»	»	»	Regnault.
D. — FRANCE										
Dax, lignite terreux	70,49	5,59	18,93	»	»	4,99	»	»	»	Regnault.
Aix	73,79	5,29	20,92	»	»	»	35,6	»	»	id.
Région des Alpes	72,19	5,36	22,45	»	»	»	48	»	»	id.
Bouches-du-Rhône	63,88	4,58	18,11	»	»	13,43	»	»	»	id.
Manosque	66,31	4,85	28,84	»	»	»	40	»	»	Scheurer-Kestner.
E. — IRLANDE										
Lough-Neagh, lignite proprement dit	64,09	6,51	29,40	»	»	»	»	»	»	Kane.
F. — RUSSIE										
Ferghana	73,75	4,33	21,92	»	»	»	64,3	Eau hygroscopique et matières volatiles 35,7	6.800	Alexejeff.
Helat, Caucase	75,51	4,77	19,72	»	»	»	60,4	39,6	7.100	id.
Petschora	65,71	4,11	30,18	»	»	»	44,9	55,1	5.790	id.
Tschulkowa, Riazan	72,65	5,14	22,21	»	»	»	50,9	49,1	6.920	id.
Malewka, Toula	68,66	4,89	26,45	»	»	»	42,9	57,1	6.560	id.
Guschér d'Helat (Gagat)	74,74	5,79	19,47	»	»	»	44,7	55,3	7.550	id.
Steppe Kirghise, lignite noir	60,42	4,00	35,58	»	»	»	29,9	70,1	4.860	id.
— lignite brun	62,79	5,56	31,65	»	»	»	33,6	66,4	5.875	id.
Menselink, près de Kama	61,51	5,81	32,68	»	»	»	31,5	68,5	5.830	id.
G. — AMÉRIQUE										
Wigan, lignite terreux	84,39	6,63	8,98	»	»	»	»	»	»	J. A. Philipps.
Conception-Bay, lignite terreux	76,02	6,31	17,67	»	»	»	»	»	»	Playfer.
Sandy-Bay (Patagonie), lignite proprement dit	71,72	5,85	22,43	»	»	»	»	»	»	id.
Talcahuano-Bay, lignite proprement dit	75,16	6,85	17,99	»	»	»	»	»	»	id.

Digitized by Google

4. Houille. — Classification des houilles. — La *houille* paraît être une substance végétale minéralisée. Il semble en effet que la tourbe soit l'origine d'une transformation que le lignite continue, que la houille accentue encore et que l'anthracite termine.

On divise habituellement les houilles en *trois grandes catégories.*

1° Houilles sèches a longue flamme ou houilles maigres flambantes (*langflammige Sandkohlen*). — Elles brûlent avec une flamme longue, fuligineuse, se réduisent en miettes sans coller. Elles sont employées surtout pour le chauffage des fours et des chaudières à vapeur.

Leur composition moyenne est :

	Pour 100
C	75 à 80
H	5,5 à 4,5
O + Az	19,5 à 15,5

Elles donnent à la distillation sèche de 50 à 60 0/0 de coke friable, vaporisent de 6,7 à 7,5 fois leur poids d'eau, et dégagent en brûlant de 8.000 à 8.500 calories-kilogrammes.

2° Houilles grasses. — Dans cette catégorie, les fragments se boursouflent et s'agglutinent pendant la combustion.

On distingue :

a) *Houilles grasses à longue flamme, ou houilles à gaz* (*langflammige Backkohlen, langflammige Fettkohlen, Gaskohlen, gasreiche Sinter- und Backkohlen*). — Employées dans la fabrication du gaz d'éclairage et pour le chauffage domestique ; peu employées dans la fabrication du coke, bien que, dans des fours convenablement construits, elles donnent un coke de qualité moyenne. Brûlent avec une flamme longue, fuligineuse ; deviennent molles sous l'action de la chaleur.

Leur composition moyenne est :

	Pour 100
C	80 à 85
H	5,8 à 5
O + Az	14,2 à 10

Fournissent à la distillation sèche de 60 à 68 0/0 de coke ; vaporisent de 7,6 à 8,3 fois leur poids d'eau, et dégagent de 8.500 à 8.800 calories-kilogrammes.

b) *Houilles grasses maréchales.* — Brûlent avec une flamme très chaude, courte et fuligineuse ; engendrent sur le foyer une pâte compacte nécessitant par sa grande agglutination de fréquents piquages du feu. Employées surtout dans les forges et les industries du fer.

c) *Houilles grasses dures à courte flamme.* — Plus consistantes que les précédentes ; laissent l'air mieux traverser leur masse.

La composition moyenne des variétés *b*) et *c*) est :

	Pour 100
C	84 à 89
H	5 à 5,5
O + Az	11 à 5,5

A la distillation sèche, elles fournissent de 68 à 74 0/0 de coke fondu plus ou moins gonflé ; elles vaporisent de 8,4 à 9,2 fois leur poids d'eau, et dégagent en brûlant de 8.800 à 9.300 calories-kilogrammes.

Digitized by Google

d) *Houilles demi-grasses ou houilles grasses à courte flamme, ou houilles à coke (kurzflammige Back- oder Fettkohlen, Kokekohlen).* — Employées surtout dans la fabrication du coke. Difficiles à allumer; brûlent avec une flamme très éclairante, courte, peu fuligineuse.

Leur composition moyenne est :

	Pour 100
C	88 à 91
H	5,5 à 4,5
O + Az	6,5 à 4,5

Fournissent à la distillation sèche de 74 à 82 0/0 de coke.

Elles vaporisent de 9,2 à 10 fois leur poids d'eau, et dégagent en brûlant de 9.300 à 9.600 calories-kilogrammes.

3° Houilles sèches anthraciteuses (*Gasarme, magere Kohlen*). — Sans flammes, difficiles à allumer; employées surtout pour la cuisson de la chaux et des briques.

Leur composition moyenne est :

	Pour 100
C	90 à 93
H	4,5 à 4
O + Az	5,5 à 3

Le résidu de la distillation sèche est formé de 82 à 90 0/0 d'un coke très friable.

Elles vaporisent de 9 à 9,5 fois leur poids d'eau et dégagent, en brûlant, de 9.200 à 9.500 calories-kilogrammes.

La CLASSIFICATION COMMERCIALE se fait d'après la grosseur des fragments :

Le *Tout-venant* est une houille telle qu'elle sort de la mine;

Les *Pera, Gros en roche*, sont des morceaux plus gros que le poing;

La *Gailletterie* est en morceaux de la grosseur du poing;

Le *Menu* est une houille fine;

La *Gaillette* ou *Gailletin* est en morceaux rentrant dans les menus;

Les *Fines Grenues* et le *Poussier* sont des petites gaillettes et des mélanges de poussières.

Le tableau VI donne la classification anglaise et française des houilles industrielles.

Les tableaux VII et VIII indiquent les compositions d'un certain nombre de houilles.

Digitized by Google

TABLEAU VI

CLASSIFICATION ANGLAISE ET FRANÇAISE DES HOUILLES INDUSTRIELLES

DÉNOMINATIONS		DENSITÉ MOYENNE	CARACTÈRES		PROVENANCE
ANGLAISE	FRANÇAISE		PHYSIQUES	A LA COMBUSTION	
Cannel coal	Houilles compactes.	1,312	Grande dureté, couleur noire tirant sur le gris.	Allumage facile. Brûlent avec une flamme vive.	Edimbourg. Lancashire. Roches bleues.
Cherry coal	Houilles grasses molles, à longue flamme.	1,266	Noir velouté, fragile, brillant, parfois éclatant.	Allumage facile. Brûlent vite avec flammes. Dégagent beaucoup de chaleur.	Mons. Anzin. Newcastle. Glasgow. Sunderland.
Caking coal	Houilles collantes ou maréchales, ou grasses fondantes	1,270	Noir velouté avec teintes irisées, brillant de la résine.	Brûlent avec flamme jaune très vive, se brisent sous l'action de la chaleur et s'agglutinent. Durent longtemps, dégagent un peu de fumée et beaucoup de chaleur.	Partie du bassin de St-Étienne. — Partie du bassin de Newcastle. — Durham.
Splint coal	Houilles à longue flamme espailleuses, sèches ou maigres.	1,300	Noir brûnâtre, brillant de la résine.	S'enflamment difficilement et brûlent lentement. Fort dégagement de chaleur.	Bassin de Saint-Etienne. Graissessac. Charleroi. Wyham.

Digitized by Google

TABLEAU VII

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE ABSOLUE D'UN CERTAIN NOMBRE DE HOUILLES

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES	C	H	O + Az	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT EN COKE	MATIÈRES VOLATILES autres que l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	ABSTRACTION FAITE DE L'EAU DES CENDRES et du soufre			PUISSANCE CALORIFIQUE calculée (formule de Mahler)
										C	H	O + Az	
I. — CHARBONS ALLEMANDS (d'après Bunte)													
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.
Charbon de la Ruhr. Mine General	81,96	4,81	6,62	1,57	1,42	3,62	»	»	7.840	86,25	5,07	8,68	8.509,5
— (après distillation à l'abri de l'air).	66,92	»	»	»	1,42	3,62	70,54	28,04	7.840	»	»	»	»
Charbon de la Ruhr. Mine Dahlbusch	69,49	4,23	6,37	0,85	2,07	16,99	»	»	6.618	86,76	5,28	7,96	8.645
— (après distillation à l'abri de l'air).	56,11	»	»	»	2,07	16,99	73,10	24,83	6.618	»	»	»	»
Charbon de la Saar (Friedrichstal)	76,20	4,98	9,28	1,11	2,03	6,40	»	»	7.343	84,23	5,50	10,27	8.445,5
— (après distillation à l'abri de l'air).	54,43	»	»	»	2,03	6,40	60,83	37,14	7:343	»	»	»	»
Charbon de la Silésie (Mathilde)	78,31	4,70	9,87	0,75	2,05	4,32	»	»	7.414	84,30	5,06	10,64	8.288
— (après distillation à l'abri de l'air).	63,50	»	»	»	2,05	4,32	67,82	30,13	7.414	»	»	»	»
Charbon de la Saxe (Puits impérial à Gersdorf)	71,45	4,76	10,06	1,30	8,91	3,52	»	»	6.750	82,82	5,50	11,68	8.288
— (après distillation à l'abri de l'air).	56,23	»	»	»	8,91	3,52	59,75	31,34	6.750	»	»	»	»
II. — CHARBONS FRANÇAIS (d'après Mahler)													
Houilles grasses et demi-grasses à coke													
1/2 grasse d'Anzin, fosse St-Marc, 4e veine du Nord.	88,47	4,14	4,34	0,67	1,35	1,70	»	»	8.392	91,26	4,27	4,47	8.767
— (après distillation à l'abri de l'air).	83,30	»	»	»	1,35	1,70	85,00	13,65	8.392	»	»	»	»
1/2 grasse de la Grand'Combe. Couche du puits Saint-Jean	87,16	4,26	4,16	»	0,61	3,81	»	»	8.371	91,18	4,46	4,36	8.832
— (après distillation à l'abri de l'air).	82,80	»	»	»	0,61	3,81	86,61	12,78	8.371	»	»	»	»
1/2 grasse de Roche-la-Molière	85,69	4,17	5,24	»	0,90	4,00	»	»	8.417	90,11	4,38	5,51	8.681
— (après distillation à l'abri de l'air).	81,79	»	»	»	0,90	4,00	85,79	13,31	8.417	»	»	»	»
1/2 grasse d'Aniche, veine Ferdinand, fosse l'Archevêque	85,94	4,20	5,24	0,81	0,62	4,00	»	»	8.426	90,10	4,40	5,50	8.688
— (après distillation à l'abri de l'air).	84,00	»	»	»	0,62	4,00	88,00	11,38	8.426	»	»	»	»
Grasse d'Anzin, grande veine, fosse Enclos	83,75	4,38	5,76	»	1,11	5,00	»	»	8.051	89,19	4,67	6,14	8.689
— (après distillation à l'abri de l'air).	73,70	»	»	»	1,11	5,00	78,70	20,19	8.051	»	»	»	»
Grasse Ronchamp, puits Magny, 2e couche	79,20	4,31	5,59	0,56	1,20	9,70	»	»	7.839	88,89	4,34	6,27	8.717
— (après distillation à l'abri de l'air).	68,40	»	»	»	1,20	9,70	78,10	20,70	7.839	»	»	»	»
Grasse de Lens, fosse n° 8, veine de 1m,90	87,74	4,68	5,04	0,86	1,00	1,54	»	»	8.614	90,03	4,80	5,17	8.829
— (après distillation à l'abri de l'air).	78,46	»	»	»	1,00	1,54	80,00	19,00	8.614	»	»	»	»
Grasse de Carmaux	85,20	4,72	7,08	»	1,50	1,50	»	»	8.380	87,83	4,87	7,30	8.611
— (après distillation à l'abri de l'air).	75,90	»	»	»	1,50	1,50	77,40	21,10	8.380	»	»	»	»
Grasse maréchale de Roche-la-Molière	85,64	4,63	5,38	»	1,35	3,00	»	»	8.482	89,53	4,84	5,63	8.788
— (après distillation à l'abri de l'air).	73,79	»	»	»	1,35	3,00	76,79	21,86	8.482	»	»	»	»
Grasse des houillères de Saint-Etienne, 8e couche, Treuil	84,55	4,77	5,43	0,59	1,25	4,00	»	»	8.392	89,23	5,03	5,74	8.829
— (après distillation à l'abri de l'air).	75,00	»	»	»	1,25	4,00	79,00	19,75	8.392	»	»	»	»
Grasse des mines de Portes (Gard)	78,24	4,37	7,70	»	0,78	8,91	»	»	7.646	86,52	4,84	8,64	8.382
— (après distillation à l'abri de l'air).	72,89	»	»	»	0,78	8,91	81,80	17,42	7.646	»	»	»	»
Houilles grasses à gaz													
De Béthune (gazogène de la verrerie de Follembray).	82,42	5,09	7,19	»	1,20	4,10	»	»	8.210	87,03	5,37	7,60	8.710
— (après distillation à l'abri de l'air).	65,90	»	»	»	1,20	4,10	70,00	28,80	8.210	»	»	»	»
De Lens (veine Ousouich), fosse 5	83,73	5,22	7,00	»	1,05	3,00	»	»	8.395	87,26	5,44	7,30	8.758
— (après distillation à l'abri de l'air).	66,40	»	»	»	1,05	3,00	69,40	29,55	8.395	»	»	»	»

Digitized by Google

De Montrambert, grande couche, étage de 356m	81,27	5,33	9,55	»	0,84	3,01	»	»	8.268	84,52	5,54	9,94	8.494
— (après distillation à l'abri de l'air).	63,20	»	»	»	0,84	3,01	66,21	32,95	8.268	»	»	»	»
De Commentry	80,18	5,24	8,17	0,59	3,00	3,41	»	»	7.870	85,66	5,60	8,74	8.644
— (après distillation à l'abri de l'air).	56,15	»	»	»	3,00	3,41	59,56	37,44	7.870	»	»	»	»
Houilles flambantes ligniteuses													
De Montvic	76,31	5,12	9,47	0,69	4,30	4,80	»	»	7.790	83,95	5,63	10,42	8.465
— (après distillation à l'abri de l'air).	57,20	»	»	»	4,30	4,80	62,00	33,70	7.790	»	»	»	»
De Blanzy-Puits Ste-Marie, 3e couche, 354 mètres	79,38	4,97	9,85	0,48	3,90	1,90	»	»	7.866	84,26	5,27	10,47	8.364
— (après distillation à l'abri de l'air).	64,10	»	»	»	3,90	1,90	66,00	30,10	7.866	»	»	»	»
De Decazeville (Bourran)	75,27	5,14	10,08	»	1,70	7,81	»	»	7.486	83,17	5,68	11,15	8.397
— (après distillation à l'abri de l'air).	58,10	»	»	»	1,70	7,81	65,91	32,39	7.486	»	»	»	»
De Blanzy-Puits Ste-Eugénie, 1re couche, étage 380m	74,73	5,17	11,76	1,28	3,50	4,84	»	»	7.408	81,53	5,64	12,83	8.197
— (après distillation à l'abri de l'air).	55,55	»	»	»	3,50	4,84	60,39	36,11	7.408	»	»	»	»
De Decazeville (Tramont)	75,27	5,42	14,92	0,82	1,58	2,81	»	»	7.494	78,72	5,67	15,61	7.897
— (après distillation à l'abri de l'air).	56,19	»	»	»	1,58	2,81	59,00	39,42	7.494	»	»	»	»
III. — CHARBONS ANGLAIS (d'après Mahler)													
Houilles grasses à gaz													
Cannel de Wigan (Lancashire)	78,38	5,06	5,06	»	0,60	10,90	»	»	7.761	88,57	5,72	5,71	9.011
— (après distillation à l'abri de l'air).	60,50	»	»	»	0,60	10,90	71,40	28,00	7.761	»	»	»	»
Cannel coal Niddrie	76,54	6,00	8,80	»	3,96	4,70	»	»	7.703	83,79	6,57	9,64	8.800
— (après distillation à l'abri de l'air).	57,07	»	»	»	3,96	4,70	61,77	48,41	7.703	»	»	»	»
IV. — CHARBONS ANGLAIS : COMPOSITION MOYENNE (d'après Philipps, *les Combustibles solides, liquides, gazeux*. Gauthier-Villars, 1902)													
Pays de Galles (36 échantillons)	83,78	4,79	5,13	»	1,43	4,27	»	»	»	88,85	5,08	6,07	8.803
— (après distillation à l'abri de l'air).	68,33	»	»	»	1,43	4,27	72,60	25,97	»	»	»	»	»
Newcastle (18 échantillons)	82,12	5,31	7,04	»	1,24	4,29	»	»	»	86,90	5.60	7,50	8.780,7
— (après distillation à l'abri de l'air).	56,38	»	»	»	1,24	4,29	60,67	38,09	»	»	»	»	»
Lancashire (28 échantillons)	77,90	5,32	10,83	»	1,44	4,51	»	»	»	82,87	5,60	11,53	8.332
— (après distillation à l'abri de l'air).	55,71	»	»	»	1,44	4,51	60,22	38,34	»	»	»	»	»
Écosse (8 échantillons)	78,53	5,61	10,69	»	1,11	4,06	»	»	»	82,81	5,90	11,29	8.437
— (après distillation à l'abri de l'air).	50,16	»	»	»	1,11	4,06	54,22	44,67	»	»	»	»	»
Derbyshire (7 échantillons)	79,68	4,94	11,69	»	1,01	2,68	»	»	»	82,73	5,12	12,15	8.136
— (après distillation à l'abri de l'air).	56,64	»	»	»	1,01	2,68	59,32	39,67	»	»	»	»	»
Houilles pour chaudières du Monmouthshire (Ebbs Vale Steel, Iron and Coal Co Ld)													
Therquarter vein	89,05	4,75	3,56	»	0,89	1,75	»	»	8.745	91,47	4,90	3,63	9.027
— (après distillation à l'abri de l'air).	78,30	»	»	»	0,89	1,75	80,05	19,06	8 745	»	»	»	»
Elled Seam	88,06	4,65	4,46	»	0,76	2,07	»	»	8.575	90,62	4,80	4,58	8.895
— (après distillation à l'abri de l'air).	76,97	»	»	»	0,76	2,07	79,04	20,20	8.575	»	»	»	»
Old Coal	85,35	4,62	4,41	»	0,81	2,81	»	»	8.514	90,63	4,80	4,57	8 895
— (après distillation à l'abri de l'air).	78,22	»	»	»	0,81	2,81	81,03	18,16	8.514	»	»	»	»
Big vein	86,96	4,60	4,32	»	0,82	3,30	»	»	8.487	90,70	4,79	4,51	8.829
— (après distillation à l'abri de l'air).	73,75		»	»	0,82	3,30	77,05	22,13	8.487	»	»	»	»

Observations. — Les données relatives à la distillation du combustible à l'abri de l'air ont une très grande importance au point de vue de l'utilisation de ce combustible dans les gazogènes.

Quand on connaît la teneur en matières volatiles autres que l'eau, on obtient le carbone fixe en retranchant de 100 la somme des teneurs pour 100 de l'eau hygroscopique, des matières volatiles et des cendres.

Le rendement en coke s'obtient en faisant la somme de la teneur en carbone fixe et de la teneur en cendres.

Nous ignorons par quelle méthode ont été obtenues les puissances calorifiques données d'après Bunte.

Les puissances calorifiques calculées par la formule de Mahler sont plus élevées que les puissances calorifiques réelles. Elles diffèrent d'autant plus de celles-ci que la teneur en eau hygroscopique et en cendres est plus considérable.

Digitized by Google

TABLEAU VIII

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE DE DIVERSES SORTES DE HOUILLES

(D'après Jüptner, *Lehrbuch der chemischen Technologie der Energien*, t. I, 1re partie, p. 202)

LIEU D'ORIGINE	C	H	Az + O	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT EN COKE	RENDEMENT en MATIÈRES VOLATILES autres que l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
A. — AUTRICHE-HONGRIE										
a) *Basse-Autriche.*	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
Schrambach-Lilienfeld	78,04	4,32	8,64	2,03	1,14	5,83	»	»	7.625	Schwackhöfer.
— (après distillation à l'abri de l'air).	66,87	»	»	»	1,14	5,83	72,70	26,16	»	id.
Loich	76,04	4,67	11,34	1,19	2,64	4,12	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air).	59,08	»	»	»	2,64	4,12	63,20	34,16	7.736	id.
Pramelreith, veine supérieure	59,79	3,84	17,56	2,91	10,47	5,43	»	»	5.675	»
— veine moyenne	64,71	4,08	17,58	2,67	6,79	4,17	»	»	6.470	»
Hinterholz in Schwarzuber	74,43	4,17	6,76	1,94	2,07	10,63	»	»	7.200	Schwackhöfer.
— (après distillation à l'abri de l'air).	61,07	»	»	»	2,07	10,63	71,70	26,23	»	id.
b) *Bohême.*										
Schatzlar, gaillettes	72,81 à 75,91	4,67 à 4,44	9,46 à 9,90	1,16 à 0,74	3,05 à 4,85	8,85 à 4,14	»	»	6.900 à 7.070	id.
Radowenz, mine Célestine	56,04	3,39	11,24	»	6.41	22,92	»	»	5.154	Georg Nass.
Kladno, puits François-Joseph	59,48	3,55	10,05	»	7,90	19,02	»	»	5.497	Schwackhöfer.
— — Barré	62,96	3,46	10,90	»	8,07	14,61	»	»	5.716	id.
— — Mayran	55,57	3,44	12,43	»	11,45	17,11	»	»	5.033	id.
— — Jean	61,19	3,46	11,73	»	14,27	9,35	»	»	5.500	id.
— — Théodore	51,60	1,93	10,08	»	22.85	13,54	»	»	»	»
— — Ronna	59,66	3,74	7,28	»	14,18	15,14	»	»	5.616	Dr Friedrich.
Rakonitz-Lubna, zone ouest	45,40	2,76	11,34	»	12,83	27,67	»	»	4.032	Schwackhöfer.
Schlan	49,63	3,37	14,17	»	18,92	13,91	»	»	4.433	id.
Pilsen, Plattenkohle, poids spécifique = 7,33	75,21	5,96	16,26	»	»	2,57	»	»	»	id.
— puits Marie	75,09	4,51	8,41	»	6,08	5,31	»	»	7.098	id.
— Westböhmischer Bergbau-Aktien-Verein	72,89	5,15	10,41	0,66	5,94	4,95	»	»	7.000	»
Pilsen, mine Saint-Pancrace, puits Sylvia	75,27	4,66	11,05	0,35	7,04	1,63	»	»	7.000	»
— — — Krimich	72,54	4,81	11,64	0,70	9,35	0,96	»	»	6.810	»

Polnisch-Ostrau : puits Salm, puits n°s 7 et 5, veine Hangend	76,70	4,49	12,60	0,76	2,61	2,84	»	»	7.194	Schwackhöfer
— (après distillation à l'abri de l'air)	59,26	»	»	»	2,61	2,84	62,10	35,29	»	id.
— puits n° 2, veine Flora	81,83	4,83	8,97	0,51	2,00	1,86	»	»	7.740	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	62,44	»	»	»	2,00	1,86	64,30	33,70	»	id.
Polnisch-Ostrau, tout-venant	75,08	4,44	9,12	0,67	2,51	8,18	»	»	7.172	id.
— puits Wilczek, puits Trinité, veine Prince-Rodolphe, gaillettes	78,12	4,93	10,34	0,82	3,11	2,68	»	»	7.513	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	62,42	»	»	»	3,11	2,68	65,10	31,79	»	id.
Polnisch-Ostrau, menus	70,32	4,12	9,65	0,64	3,35	11,92	»	»	6.654	id.
Peterswald, mine Henri-Glück, puits Eugène	69,90	4,24	11,32	2,15	3,99	8,40	»	»	6.684	id.
Orlau-Lazy, charbon moyen, lavé	72,63	4,39	10,43	0,75	2,77	9,03	»	»	6.900	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	54,27	»	»	»	2,77	9,03	63,30	34,13	»	id.
Jaklowetz, puits Thérèse	70,85	4,04	8,26	0,92	1,85	14,08	»	»	6.737	id.
Dombrau, petites gaillettes	72,65	4,22	9,70	0,67	2,28	10,48	»	»	6.829	id.
Karwin, mine Gabriel, tout-venant	68,11	3,95	10,02	0,90	5,55	11,47	»	»	6.420	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	59,03	»	»	»	5,55	11,47	70,50	23,95	»	id.
Mährig-Ostrau, gaillettes	77,11	4,50	9,60	0,68	2,21	5,90	»	»	7.296	id.
— petites gaillettes	72,73	4,21	9,09	0,73	2,90	10,34	»	»	6.830	id.
— tout-venant	68,48	4,10	10,09	0,96	3,39	12,98	»	»	6.479	id.
— menus	67,22	3,78	9,90	0,76	4,55	13,79	»	»	6.270	id.
Ellgoth, nouveau puits, veine 4b	81,36	4,20	4,22	1,10	1,12	5,00	»	»	8.011	»
— (après distillation à l'abri de l'air)	75,30	»	»	»	1,12	5,00	80,30	18,58	»	»
Rossitz-Oslawan, gaillettes	73,76	3,99	9,50	3,74	0,66	9,35	»	»	7.252	»
— tout-venant	66,76	3,35	7,41	2,68	5,02	14,78	»	»	6.388	»
— petites gaillettes lavées	70,83	3,79	7,54	3,75	1,89	12,18	»	»	6.976	»
— menus lavés	71,87	3,77	6,60	2,68	2,88	12,20	»	»	6.990	»
— poussière	68,84	3,47	7,32	2,94	2,35	15,08	»	»	6.620	»
Mährisch-Trübau-Boskowitz, couche supérieure	51,78	2,23	12,35	0,47	11,41	21,76	»	»	4.410	»
Haute-Silésie { Mine König	73,36	4,32	11,32	»	5,56	5,44	»	»	6.804	»
Haute-Silésie { Mine Ferdinand	71,46	4,11	12,45	»	6,00	5,97	»	»	6.545	»
Haute-Silésie { Myslowitz	66,45	3,75	13,92	»	10,01	5,87	»	»	5.977	»
d) *Galicie.*										
Tencrynek, veine Adam	63,17	4,11	13,75	»	14,24	3,73	»	»	5.739	»
B. — ALLEMAGNE										
a) *District de Wettin.*										
Löbejün	81,88	3,68	3,65	»	»	10,79	»	»	»	Heintz.
Wettin	77,53	5,13	5,30	»	»	12,04	»	»	»	id.
b) *District de Waldenburg.*										
Mine Segengott, veine 8	82,02	5,22	10,25	»	»	2,51	»	»	»	id.
— David, veine principale	79,18	4,55	11,08	»	»	5,19	»	»	»	id.

Digitized by Google

TABLEAU VIII (*Suite*)

LIEU D'ORIGINE	C	H	Az + O	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT EN COKE	RENDEMENT en MATIÈRES VOLATILES autres que l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
Mine Gräfl. Hochberg, veine 2	70,87	5,63	14,35	»	»	9,15	»	»	»	Heintz.
— Fuchs, veine 8	79,30	5,06	10,56	»	»	5,08	»	»	»	id.
— Glückhilf, veine 2	80,82	5,10	9,51	»	»	4,57	»	»	»	id.
Nouvelle mine Henri, veine 2	80,82	4,96	8,14	»	»	6,08	»	»	»	id.
Glückhilf, I	70,20	3,94	9,40	0,37	1,60	14,49	»	»	7.044	Schwackhöfer.
— II	70,83	3,94	8,73	0,79	1,69	14,02	»	»	6.822	id.
c) *District de la Haute-Silésie.*										
Mine Eugeniensglück, veine Caroline	73,20	4,93	19,11	»	»	2,76	»	»	»	Heintz.
— Morgenrot, veine Morgenrot	74,57	4,82	16,14	»	»	4,47	»	»	»	id.
— König, veine Heintzmann	73,48	4,95	18,64	»	»	2,93	»	»	»	id.
— — — Gerhard	79,51	4,87	12,96	»	»	2,66	»	»	»	id.
— Louise, — supérieure	70,02	4,99	14,87	»	»	10,12	»	»	»	id.
— — — inférieure	70,79	5,32	19,34	»	»	4,55	»	»	»	id.
— Fausta, — Fausta	77,25	4,58	13,35	»	»	4,82	»	»	»	id.
— — — Clara	76,63	4,98	13,92	»	»	4,47	»	»	»	id.
— Hoym, — Hoym	72,96	4,38	12,12	»	»	10,54	»	»	»	id.
— Leo, — Leo	78,22	4,89	12,95	»	»	3,94	»	»	»	id.
— Reine-Louise, veine Pochhammer	77,25	4,98	13,86	»	»	3,91	»	»	»	id.
— — — Heinitz	73,93	4,85	17,59	»	»	3,63	»	»	»	id.
— — — Reden	82,72	5,05	10,67	»	»	1,56	»	»	»	id.
— Léopold, veine Léopold	76,21	5,03	13,50	»	»	5,26	»	»	»	id.
Königshütte	70,88	4,07	11,65	0,44	8,72	4,24	»	»	6.920	Schwackhöfer.
Morgenstern	61,00	3,07	13,93	0,57	9,07	12,36	»	»	5.728	id.
Morgenrot	68,90	3,55	14,03	0,39	9,67	3,46	»	»	6.366	id.
Mine Ferdinand	73,50	4,16	13,06	0,31	5,00	3,97	»	»	6.907	id.
d) *District de Saarbrück.*										
Mine Gerhard, veine Beust	72,38	4,46	15,05	»	»	8,11	»	»	»	Heintz.
— — — Henri	70,20	4,70	13,27	»	»	11,83	»	»	»	id.
— Heinitz, — Blücher	80,53	5,06	11,91	»	»	2,50	»	»	»	id.
— — — Aster	78,97	5,10	13,22	»	»	2,71	»	»	»	id.

Digitized by Google

Mine James, veine Grosskohl	89,48	4,29	3,98	»	»	2,25	»	»	»	id.
— Zentrum, veine Grosskohl	63,69	4,07	8,25	»	»	3,99	»	»	»	id.
— — — Gyr	90,62	4,50	1,31	»	»	3,57	»	»	»	id.
— — — Fornegel	84,06	4,27	2,22	»	»	9,45	»	»	»	id.
f) *District de Worms, près Aix-la-Chapelle*										
Mine Neulaurweg, veine Grossathwerk	89,32	3,80	2,71	»	»	4,17	»	»	»	Heintz.
— Neulangenberg, veine Furth	88,59	4,10	4,39	»	»	2,92	»	»	»	id.
— Ath, veine Grosslangenberg	90,41	4,03	4,11	»	»	1,45	»	»	»	id.
g) *District de l'Administration des mines d'Essen.*										
Mine Sälzer et Neuack, veine Röttgersbank	85,62	4,65	7,64	»	»	2,09	»	»	»	id.
— Victoria-Matthias, — Anna	86,43	5,32	5,67	»	»	2,58	»	»	»	id.
— Kunstwerk, — Sonnenschein	89,58	4,30	4,04	»	»	2,08	»	»	»	id.
— Hundsnocken, — Hitzberg	88,23	3,86	3,69	»	»	4,22	»	»	»	id.
h) *District de l'Administration des mines de Bochum.*										
Mine Engelsburg, veine Stennsmannsbank	85,90	4,56	6,33	»	»	3,21	»	»	»	id.
— Frédéric-Guillaume, veine Siebenhandbank	82,22	5,00	7,71	»	»	5,07	»	»	»	id.
Mine Président, veine Président	79,72	4,62	12,40	»	»	3,26	»	»	»	id.
— Francisca-Tiefbau, veine Hangend	77,10	4,55	11,79	»	»	6,56	»	»	»	id.
— Louise-Tiefbau	78,05	5,05	12,92	»	»	3,98	»	»	»	id.
i) *District de l'Administration des mines d'Ibbenbühren.*										
Mine Schafberg, veine Alexandre	82,02	4,16	4,53	»	»	9,29	»	»	»	id.
— Glücksberg, — Flottwell	77,25	4,02	8,14	»	»	10,59	»	»	»	id.
— — — François	72,66	4,05	9,24	»	»	14,05	»	»	»	id.
— Laura, près de Minden	76,81	4,35	8,76	»	»	12,08	»	»	»	id.
k) *Charbons de la Westphalie.*										
Rhein-Elme-Alma	79,82	4,96	6,04	0,82	3,00	5,36	»	»	»	D'après Fischer, *Technologie der Brennstoffe.*
— (après distillation à l'abri de l'air)	64,34	»	»	»	3,00	5,36	69,90	27,10	»	
Pluto (Pluton)	71,93	4,51	6,62	1,56	2,42	12,96	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	59,14	»	»	»	2,42	12,96	72,10	25,48	»	id.
Bonifazius (Boniface)	73,28	4,63	6,39	1,50	2,74	11,46	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	58,74	»	»	»	2,74	11,46	70,20	27,06	»	id.
Wilhelmine-Victoria	75,85	4,74	7,27	0,92	2,60	8,62	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	60,78	»	»	»	2,60	8,62	69,40	28,00	»	id.
Hannibal	76,20	4,80	6,73	1,68	2,20	8,39	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	60,91	»	»	»	2,20	8,39	69,30	28,30	»	id.

Digitized by Google

TABLEAU VIII (*Suite*)

LIEU D'ORIGINE	C	H	Az + O	S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT EN COKE	RENDEMENT en MATIÈRES VOLATILES autres que l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	OBSERVATEUR
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	calories-kgr.	
Consolidation	78,94	5,21	6,71	0,88	1,64	6,62	»	»	»	D'après Fischer, *Technologie der Brennstoffe.*
— (après distillation à l'abri de l'air).	62,38	»	»	»	1,64	6,62	69,00	29,36	»	
Hibernia	82,97	5,08	6,82	0,81	2,10	2,22	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	64,98	»	»	»	2,10	2,22	67,20	30,70	»	id.
Zollverein	83,33	5,11	7,34	1,20	0,97	2,05	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	65,75	»	»	»	0,97	2,05	67,80	31,23	»	id.
Dahlbusch	81,04	5,20	5,61	1,82	2,12	4,21	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)...	63,39	»	»	»	2,12	4,21	67,60	30,28	»	id.
Unser Fritz	74,80	4,75	7,49	0,85	2,46	9,65	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	58,75	»	»	»	2,46	9,65	68,40	29,14	»	id.
Königsgrube	78,93	5,11	7,16	0,94	2,00	5,86	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	60,84	»	»	»	2,00	5,86	66,70	31,30	»	id.
Hansa	79,16	5,16	7,20	1,85	1,95	4,68	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	61,32	»	»	»	1,95	4,68	66,00	32,05	»	id.
Hollande	77,81	4,96	8,25	1,47	1,40	6,11	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	60,49	»	»	»	1,40	6,11	66,60	32,00	»	id.
Bismarck	68,15	4,46	7,80	1,56	5,10	12,93	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	52,47	»	»	»	5,10	12,93	65,40	29,50	»	id.
Ewald	77,38	5,04	7,20	0,73	2,78	6,87	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	56,13	»	»	»	2,78	6,87	63,00	34,22	»	id.
Hugo	79,73	5,22	8,18	0,88	1,65	4,34	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)..	61,36	»	»	»	1,65	4,34	65,70	32,65	»	id.
Frédéric le Grand (Friedrich der Grosse)...	79,66	5,13	7,55	1,32	1,98	4,36	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air).	60,64	»	»	»	1,98	4,36	65,00	33,02	»	id.
l) *Bavière.*										
Eschelbach	72,04	4,34	13,62	1,68	»	8,32	»	»	»	»
Miesbach	72,77	6,38	15,13	4,60	»	1,12	»	»	»	»
—	50,00	4,00	17,00	3,00	10,00	16,00	»	»	»	»
—	49,99	4,15	16,59	2,77	15,39	11,11	»	»	»	»
Hausham	53,64	4,80	19,97	»	8,53	13,06	»	»	»	»
Penzberg	56,20	5,04	18,10	»	10,32	10,34	»	»	»	»
Peissenberg	55,70	3,99	17,95	»	12,09	10,27	»	»	»	»
Schliersee	64,38	5,04	21,22	»	»	9,36	»	»	»	»
m) *Bade.*										
Barghausen	[illegible]	[illegible]	7,27	»	»	8,06	»	»	»	»

Digitized by Google

Plauen	69,29	4,73	6,67	1,73	4,00	13,58	»	»	»	D'après Fischer, *Technologie der Brennstoffe*.
— (après distillation à l'abri de l'air)	50,42	»	»	»	4,00	13,58	64,00	32,00	»	id.
Hendorf-Bokwa	73,51	4,74	8,47	1,21	8,60	3,47	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	55,63	»	»	»	8,60	3,47	59,10	32,30	»	id.
Erzgebirgischer Verein	67,87	4,89	9,08	1,05	6,93	10,18	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	48,72	»	»	»	6,93	10,18	58,90	34,17	»	id.
Vereinsglück Zwickau	72,55	4,81	9,69	0,78	8,85	3,32	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	50,88	»	»	»	8,85	3,32	54,20	36,95	»	id.
Zwickau, puits Brückenberg (Dresde)	73,27	5,42	8,35	1,27	6,72	4,97	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	51,53	»	»	»	6,72	4,97	56,50	36,78	»	id.
Zwickau, Oberhondorf, puits Wilhelm	72,70	5,03	9,19	0,89	8,15	4,04	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	50,36	»	»	»	8,15	4,04	54,40	37,45	»	id.
Bürgergewerk	68,75	4,91	8,92	2,13	7,79	7,50	»	»	»	id.
— (après distillation à l'abri de l'air)	47,40	»	»	»	7,79	7,50	54,90	37,31	»	id.
C. — ANGLETERRE										
Mines Nixons Navigation, Glam	88,029	4,112	2,938	0,689	1,016	3,216	»	»	8.340	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	84,046	»	»	»	1,016	3,216	87,262	11,722	»	»
Mines Thakerley, Tyldesley	68,134	4,777	6,079	3,389	4,719	14,902	»	»	6.448	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	50,276	»	»	»	4,719	14,902	63,178	30,103	»	»
Tyldesley Coal C°	74,464	5,105	9,779	0,492	6,074	4,086	»	»	7.069	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	57,755	»	»	»	6,074	4,086	61,841	32,085	»	»
Drumgray, couche supérieure : Base de la couche	75,484	4,982	9,455	0,749	2,781	6,549	»	»	7.384	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	65,037	»	»	»	2,781	6,549	71,586	25,633	»	»
— Filon moyen	72,130	4,672	7,818	0,543	2,261	12,576	»	»	6.954	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	60,899	»	»	»	2,261	12,576	73,475	24,264	»	»
— Partie supérieure de la couche	75,049	5,123	11,148	0,862	3,532	4,286	»	»	7.533	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	64,629	»	»	»	3,532	4,286	68,915	27,553	»	»
Mines Bickershaw, Leigh, près Manchester : Bickershaw	78,930	4,904	8,804	1,041	4,360	1,961	»	»	7.465	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	63,870	»	»	»	4,360	1,961	65,831	29,809	»	»
Bickershaw	73,913	4,858	12,988	0,681	6,600	0,960	»	»	7.417	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	61,212	»	»	»	6,600	0,960	62,172	31,228	»	»
Pemberton	72,409	5,158	10,252	0,932	6,699	4,550	»	»	7.242	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	56,464	»	»	»	6,699	4,550	61,014	32,287	»	»
Crombourke	69,774	4,819	13,778	1,166	7,150	3,313	»	»	7.456	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	57,871	»	»	»	7,150	3,313	61,184	31,666	»	»
Wigan	76,487	4,964	9,895	1,067	4,838	1,749	»	»	7.552	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	65,099	»	»	»	4,838	1,749	66,848	28,314	»	»
Pendleton	79,760	4,893	8,946	0,589	3,900	1,912	»	»	7.736	Thomson.
— (après distillation à l'abri de l'air)	65,661	»	»	»	3,900	1,912	67,573	28,527	»	»
Boghead d'Ecosse	60,04	8,22	4,26	3,25	»	24,23	»	»	»	Mathes.
Cannel coal de Wigan	80,07	5,53	10,20	1,50	»	2,70	»	»	»	Vaux.
—	84,07	5,71	7,82	»	»	2,40	»	»	»	id.
Cannel coal de Newcastle	86,17	5,81	4,91	»	»	3,11	»	»	»	id.
— Breckenridge	70,13	6,49	6,78	2,47	»	14,13	»	»	»	Peters.
Torbanit de Torban-Hill	66,00	8,58	4,24	»	»	21,18	»	»	»	How.
(Torban-Mineral) de Torban-Hill	64,02	8,90	6,26	»	»	20,82	»	»	»	Anderson.

Digitized by Google

5. Anthracite. — L'*anthracite* est un corps opaque et brillant, d'un noir vitreux avec un certain éclat semi-métallique parfois très prononcé. La combustion est difficile et dégage beaucoup de chaleur.

La densité varie de 1,60 à 2; ce combustible pèse donc de 1.600 à 2.000 kilogrammes par mètre cube.

L'anthracite contient très peu d'hydrogène, d'oxygène et d'azote et perd très rarement plus de 8 0/0 de son poids par une forte calcination. Il se présente, comme la houille, en bancs plus ou moins puissants, dans lesquels le combustible est mélangé, soit à peu près régulièrement, soit au contraire d'une manière tout à fait irrégulière, avec diverses matières terreuses et avec des pyrites de fer. Il brûle très difficilement avec une flamme courte et peu persistante; la combustion ne peut être entretenue que par l'action d'un courant d'air énergique et dans des appareils disposés de telle façon que la température soit très élevée, comme il arrive dans les gazogènes.

L'anthracite est très compact et peu hygrométrique; les fragments qui n'ont pas été mouillés ne perdent pas plus de 2 0/0 d'eau. Exposé à la pluie ou plongé dans l'eau, l'anthracite absorbe jusqu'à 6 0/0 de ce liquide, et ne le laisse dégager que très lentement quand il est placé à la température ordinaire dans un dessiccateur; il faut le soumettre pendant plusieurs heures à une température supérieure à 120° C. pour lui enlever complètement l'eau.

Les matières terreuses qui se trouvent le plus ordinairement dans l'anthracite sont le sable quartzeux et l'argile schisteuse : les pyrites de fer sont fréquemment très abondantes. Les cendres sont habituellement composées de sable, d'argile, d'oxyde de fer et de silicate d'alumine.

Une propriété sur laquelle doit porter l'attention quand on veut employer l'anthracite dans les gazogènes est celle de ne pas décrépiter au feu. On peut la constater très aisément au laboratoire en projetant quelques morceaux de l'anthracite étudié dans un four porté au rouge blanc et en observant de quelle manière les morceaux se comportent.

L'anthracite produit de 90 à 92 0/0 de coke pulvérulent.

Les meilleurs gisements sont :

En *France*, dans l'Isère, la Sarthe, la Mayenne, le Maine-et-Loire;

En *Angleterre*, dans le pays de Galles et en Écosse aux environs d'Edimbourg;

En *Russie* (Russie méridionale, district de Donetz);

Aux *États-Unis* (Pensylvanie);

Au *Chili* (Patagonie, presqu'île de Brunswick).

Le tableau IX donne la composition et la puissance calorifique de quelques anthracites.

Digitized by Google

TABLEAU IX

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE DE QUELQUES ANTHRACITES ET HOUILLES ANTHRACITEUSES

DÉSIGNATION DU COMBUSTIBLE	C	H	Az + O	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT en COKE	MATIÈRES VOLATILES autres que l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	ABSTRACTION FAITE DE L'EAU ET DES CENDRES C	H	Az + O	PUISSANCE CALORIFIQUE calculée (formule de Mahler	OBSERVATIONS
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	cal-kilogr.	p. 100	p. 100	p. 100	cal-kilogr.	
Anthracite de Pittville (Pensylvanie)	86,46	1,99	2,20	3,45	5,90	»	»	7.484	95,37	2,20	2,43	8.450	
— (après distillation à l'abri de l'air)	85,93	»	»	,45	5,90	91,83	4,72	7.484	»	»	»	»	
Anthracite de la Mure (grande couche)	86,56	1,37	2,97	4,70	4,40	»	»	7.468	95,24	1,50	3,26	8.172	
— (après distillation à l'abri de l'air)	86,00	»	»	4,70	4,40	90,40	4,90	7.468	»	»	»	»	
Anthracite de Hay-Duong (Tonkin)	86,11	2,00	4,63	3,26	4,00	»	»	7.533	92,85	2,16	4,99	8.152	
— (après distillation à l'abri de l'air)	86,00	»	»	3,26	4,00	90,00	6,74	7.533	»	»	»	»	
Houille anthraciteuse de Kebao	85,75	2,73	2,73	2,80	5,99	»	»	7.828	93,46	3,06	3,48	8.531	Décrépite au feu
— (après distillation à l'abri de l'air)	85,00	»	»	2,80	5,99	90,99	6,21	7.828	»	»	»	»	S = 0,7 0/0
Houille anthraciteuse de Commentry	84,93	2,89	5,00	1,77	5,41	»	»	7.850	91,49	3,12	5,39	8.360	S = 0,7 0/0
— (après distillation à l'abri de l'air)	84,50	»	»	1,77	5,41	89,91	8,32	7.850	»	»	»	»	
Houille anthraciteuse de Blanzy-Puits Sainte-Barbe, 1re couche	82,75	2,92	6,28	1,76	6,39	»	»	7 773	90,00	3,17	6,83	8.215	
— (après distillation à l'abri de l'air)	82,50	»	»	1,76	6,39	88,89	9,35	7.773	»	»	»	»	
Houille anthraciteuse de la Grand'Combe, couche Champclaisson, puits Petassas	84,07	3,63	4,22	0,83	7,25	»	»	7.850	91,46	3,95	4,59	8.515	
— (après distillation à l'abri de l'air)	83,50	»	»	0,83	7,25	90,75	8,42	7.850	»	»	»	»	
Houille anthraciteuse du Creusot	89,37	3,66	3,70	1,80	1,47	»	»	8.404	92,39	3,78	3,83	8.712	
— (après distillation à l'abri de l'air)	86,64	»	»	1,80	1,47	88,11	10,09	8.404	»	»	»	»	
Anthracite de Westphalie	85,42	3,82	5,91	0,95	3,90	»	»	7.975	89,78	4,01	6,21	8.505	
— (après distillation à l'abri de l'air)	85,00	»	»	0,95	3,90	88,90	10,15	7.975	»	»	»	»	
Anthracite de Swansea	90,58	3,60	4,10	»	1,72	»	»	»	92,20	3,67	4,13	8.647	
Anthracite de Grocherski	91,20	1,27	1,88	4,08	1,57	»	»	8.260	96,70	1,34	1,96	8.275	
— (après distillation à l'abri de l'air)	89,13	»	»	4,08	1,57	90,70	5,22	8.260	»	»	»	»	
Anthracite de Groucherka (Donetz)	»	»	»	»	3,12	»	5,54	»	»	»	»	»	S = 3,09 0/0
Anthracite de Nesvitaï (Donetz)	»	»	»	»	5,50	»	7,75	»	»	»	»	»	S = 2,5 0/0
Anthracite de Gorodistché (Donetz)	75,60	»	»	»	3,60	»	»	»	»	»	»	»	S = 2,7 0/0
Anthracite de Boulatzèle (Donetz)	83,80	»	»	»	2,70	»	»	»	»	»	»	»	S = 0,87 0/0

NOTA. — Les données relatives à la composition en carbone fixe, matières volatiles et rendement en coke sont importantes à considérer au point de vue de l'utilisation des combustibles dans les gazogènes.

Digitized by Google

6. Charbon de bois. — Le *charbon de bois* est obtenu soit par la distillation sèche du bois en vase clos (1), soit par la calcination en meules.

La combustion incomplète par suite du manque d'air donne :

1° Des *brûlots* obtenus par calcination opérée entre	....	150 et	270° C.
2° Du *charbon roux* —	....	280 et	330
3° Du *charbon noir* dur —	....	340 et	400
4° Du *charbon noir* très dur —	....	400 et	1.200

La carbonisation donne :

A 150° C.....	40 0/0 de brûlots	A 270° C....	37 0/0 de brûlots
A 280	36 — de roux	A 330	32 — de roux
A 340	30 — de noir	A 400	18 — de noir
A 400	18 — de noir dur	A 1.200	17 — de noir dur

Le charbon de bois doit être sec, sonore, noir, luisant et dur sans excès. Trop dur, il est de puissance calorifique plus élevée, mais brûle difficilement.

Le poids du charbon de bois est :

Pour le dur.....	20 à 25 kilogrammes par hectolitre
— le tendre.....	15 à 20 —

La puissance calorifique absolue supérieure du charbon de bois ordinaire est comprise entre 6.600 et 7.500 calories; pour le charbon dur, cette puissance calorifique est de 7.500 à 8.000 calories.

La composition moyenne du charbon de bois est la suivante :

			Bois desséché à l'air		Bois complètement sec	
C	pour 100	.....	75,50	90 0/0	83,00	98,90 0/0
O	—	.....	12,00		13,20	
H	—	.....	2,50		2,70	
Cendres	—	.....	1,00		1,10	
Eau hygroscopique	—	.....	9,00		»	

(1) La distillation sèche du bois fournit les produits suivants :

1° *Eau hygroscopique ;*

2° *Gaz d'éclairage* contenant les composés suivants :

Acétylène	C^2H^2	Anhydride carbonique	CO^2
Ethylène	C^2H^4	Méthane	CH^4
Benzol	C^6H^6	Hydrogène	H^2
Oxyde de carbone	CO		

3° *Goudron* formé des composés suivants :

Benzol	C^6H^6	Acide crésylique	C^7H^8O
Naphtaline	$C^{10}H^8$	Acide phlorylique	$C^8H^{10}O$
Paraffine de	$C^{20}H^{42}$ à $C^{22}H^{46}$	Créosote	$C^7H^8O^2$, $C^8H^{10}O^2$, $C^9H^{12}O^2$
Rétène	$C^{18}H^{18}$		
Phénol	C^6H^6O		
Acide oxyphénique	$C^6H^6O^2$	Résines.	

4° *Acide pyroligneux* formé de :

Acide acétique	$C^2H^4O^2$	Acétone	C^3H^6O
Acide propionique	$C^3H^6O^2$	Alcool méthylique	CH^4O

5° *Charbon de bois.*

Digitized by Google

Le charbon de bois ne donne que de 1 à 2 0/0 de cendres et ne fournit pas de produits volatils. Comme nous le verrons, cette propriété est très importante au point de vue de l'emploi de ce combustible dans les gazogènes.

Le tableau X donne, d'après Violette, la composition de charbons obtenus à différentes températures. Le tableau XI indique les quantités de charbon obtenues au moyen de diverses sortes de bois, et le tableau XII montre comment varie, avec les diverses essences de bois, la composition du charbon.

TABLEAU X

COMPOSITION DES CHARBONS OBTENUS A DIVERSES TEMPÉRATURES AVEC DU BOIS DE BOURDAINE PRÉALABLEMENT DESSÉCHÉ A 150°

TEMPÉRATURES	POIDS DU RÉSIDU DE 100 KILOG. DE BOIS (après distillation)	C	H	Az + O	CENDRES
		pour 100	pour 100	pour 100	pour 100
250	49,6	65,6	4,8	29,0	0,6
300	33,6	73,2	4,2	22,0	0,6
350	29,7	76,6	4,1	18,7	0,6
430	18,9	81,6	2,0	15,2	1,2
1.020	18,7	82,0	2,3	14,1	1,6
1.500	17,3	94,6	0,7	4,0	0,7
Fusion du platine	15,0	96,5	0,6	0,9	2,0

TABLEAU XI

QUANTITÉS DE CHARBON OBTENUES AVEC 100 PARTIES DE BOIS DESSÉCHÉ A 150° ET CARBONISÉ A 300° C.

NATURE DU BOIS	QUANTITÉ DE CHARBON OBTENUE
	pour 100
Orme	47,00
Gaïac	41,90
Buis	40,44
Frêne	38,30
Chêne	34,60
Charme	34,45
Bouleau	34,17
Erable	33,75
Bourdaine	33,61
Cornouiller	33,36

Digitized by Google

TABLEAU XII

COMPOSITION DE CHARBONS OBTENUS VERS 300° ET VERS 1.000° AVEC DIVERSES ESSENCES DE BOIS

BOIS AYANT DONNÉ LE CHARBON ANALYSÉ	C	H	Az + O	CENDRES
CHARBON PRÉPARÉ VERS 300° (d'après Violette)				
	pour 100	pour 100	pour 100	pour 100
Bourdaine	73,24	4,25	21,96	0,55
Bouleau	71,13	4,55	23,55	0.77
Buis	70,50	3,74	25,11	0,65
Frêne	70,39	4,54	24,37	0,70
Erable	70,07	4,61	24,89	0,43
Cornouiller	69,03	3,84	26,49	0,64
Charme	68,83	4,14	26,38	0,65
Peuplier	68,74	4,87	25,54	0,85
Houx	68,52	4,74	25,89	0,85
Tremble	68,17	5,51	25,73	0,59
Chêne	67,42	4,10	28,48	»
Orme	66,86	4,67	28,18	0,29
CHARBON PRÉPARÉ VERS 1.000° (d'après Werther et Faist)				
Saule	89,87	2,94	17,19	»
Peuplier	87,48	2,92	9,60	»
Tilleul	87,38	2,65	9,97	»
Aulne	90,96	2,60	6,44	»
Chêne	88,20	2,80	9,00	»

7. **Charbon de tourbe.** — Le *charbon de tourbe* est de la tourbe carbonisée, soit en vase clos, soit en meules, soit en cuves, soit dans des fours spéciaux en maçonnerie. Les produits de cette carbonisation sont poreux, leur combustion est difficile, leur puissance calorifique varie de 6.400 à 6.800 calories. Ils produisent beaucoup de cendres et sont très friables.

La tourbe donne de 24 à 27 0/0 en poids et de 25 à 30 0/0 en volume de charbon.

TABLEAU XIII

COMPOSITION DE QUELQUES CHARBONS DE TOURBE

(D'après H. Rodier, *Annuaire technique* : 3e fascicule, *Combustibles*)

	C	H	Az + O	CENDRES
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Par les procédés Vignoles	78,4	4,0	14,8	2,8
Charbon de Bog-Allen (Islande)	79,2	2,0	6,94	11,6

Digitized by Google

8. Coke. — Le *coke* provient de la calcination de la houille à l'abri de l'air[1]. Il ne contient pas de produits volatils, qui ont disparu pendant la calcination à l'abri de l'air.

Le tableau XIV donne la puissance calorifique et la composition de diverses espèces de cokes.

TABLEAU XIV

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE DE DIVERSES ESPÈCES DE COKES

	C	H	Az + O	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	ABSTRACTION FAITE DE L'EAU ET DES CENDRES			PUISSANCE CALORIFIQUE absolue supérieure mesurée	PUISSANCE CALORIFIQUE absolue supérieure calculée (form. Mahler)
						C	H	Az + O		
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	cal.-kilogr.	cal.-kilogr.
Coke métallurgique de la Grand'Combe	89,27	0,21	2,21	0,50	7,81	97,35	0,23	2,42	7.010	7.932
Coke de houille de Commentry, préparé à l'Ecole des Mines de Paris	92,73	0,44	2,63	»	4.20	96,79	0,46	2,75	7.663	7.957
Coke de houille demi-grasse d'Anzin, préparé à l'Ecole des Mines de Paris	94,58	0,63	1,58	»	3,21	97,71	0,65	1,64	7.787	8.130
Coke d'anthracite de Pensylvanie, préparé à l'Ecole des Mines de Paris	91,04	0,68	2,15	0,23	5,90	96,98	0,73	2,29	7.528	8.078
Coke provenant de houilles collantes du bassin de Mons (d'après Marsilly) :										
Premier échantillon (1)	91,30	0,33	2,17	»	6,20	»	»	»	»	»
Deuxième échantillon (1)	91,59	0,47	2,05	»	5,89	»	»	»	»	»

(1) Ces échantillons ont été obtenus par une carbonisation de quarante-huit heures, dans des fours à sole chauffée, de houille débarrassée de son eau hygroscopique par un chauffage préalable à 200°.

(1) La distillation sèche de la houille donne naissance aux produits suivants :

1° *Coke ;*

2° *Eau de goudron* (*eau ammoniacale*) contenant :

α) Éléments fondamentaux. { Eau ; Carbonate d'ammoniaque, $CO^3(AzH^4)^2$ Sulfure d'ammonium, $(AzH^4)^2S$;

β) Éléments secondaires. { Chlorure d'ammonium, AzH^4Cl ; Cyanure d'ammonium, AzH^4CAz ; Sulfocyanure d'ammonium.

3° *Goudron* contenant :

α) Carbures d'hydrogène liquides. { Benzol, Toluol, Xylol, Pseudocumol, Cyanol, Composés Propyliques et Butyriques,

β) Carbures d'hydrogène solides. { Naphtaline, Acétylnaphtaline, Anthracène, Méthylanthracène, Rétène, Chrysène. Pyrène.

γ) Autres composés. { Phénol, Crésol, Phlorol, Acide Rosolique, Acide Oxyphénique, Créosote, Pyridine, Aniline, Picoline, Lutidine, Collidine. Leucoline, Iridoline, Cryptidine, Acridine, Coridine, Rubidine, Viridine.

δ) Éléments constitutifs de l'asphalte. { Anthracène, Résines, Charbon.

4° *Gaz d'éclairage.*

α) Éléments éclairants. { Gaz : Acétylène, Ethylène, Propylène, Butylène. Vapeurs : Benzol, Styrolène, Naphtaline, Acétylnaphtaline.

Digitized by Google

Les houilles collantes sont préférables aux houilles maigres ou sèches pour la production du coke ; les premières donnent un produit agglutiné et solide, les secondes un produit pulvérulent.

Un bon coke a de 50 à 60 0/0 de vides ou pores; il doit peser de 34 à 45 kilogrammes l'hectolitre.

Les tableaux VII et VIII indiquent le rendement en coke de diverses variétés de houilles. On peut résumer de la manière suivante les valeurs des divers rendements.

TABLEAU XV

RENDEMENT EN COKE DE QUELQUES HOUILLES INDUSTRIELLES

(D'après H. Rodier, *Annuaire technique*, 3e fascicule *Combustibles*)

a. — *Houilles françaises*

	Pour 100
Houilles grasses du bassin de Valenciennes	66 à 75
— maréchales —	75 à 80
Houilles demi-grasses du bassin de Valenciennes	75 à 88
— maigres —	89 à 93
Houilles du Pas-de-Calais (Lens, Douchy)	60 à 90
— de Decazeville	60 environ
— de Commentry	65 »
— de Rive-de-Gier	65 à 75

b. — *Houilles anglaises*

	Pour 100
Houilles du Pays de Galles	58 à 83
— du Lancashire	55 à 65
— de Newcastle	50 à 63
— d'Ecosse	45 à 55

c. — *Houilles belges*

	Pour 100
Houilles de Mons, flénues sèches	63 à 67
— — grasses	68 à 72
Bassin du Centre, grasses	80 à 85
— demi-grasses	77 à 85
Bassin de Charleroi, grasses	79 à 84
— demi-grasses	85 à 90
— maigres	87 à 92

On classe les cokes en cinq catégories :

1° Coke lavé ou non;

2° Coke léger ;

3° Coke dense;

β) Gaz diluants dégageant une grande quantité de chaleur par leur combustion.	Hydrogène, Méthane, Oxyde de carbone.
γ) Impuretés.	Acide Carbonique, Ammoniaque, Cyanogène, Sulfure de carbone. Hydrogène sulfuré, Azote,

Digitized by Google

4° Coke de gaz;
5° Coke de four.
Ce dernier est le plus dur et le plus convenable comme combustible.

9. Agglomérés. — Les *agglomérés* sont, en général, des masses pulvérulentes combustibles (déchets d'usines, menus, sciures, etc...) moulées en des formes leur donnant l'apparence de briquettes ou de cylindres.

Les menus des mines servent, après lavage, à la fabrication des briquettes de houille; ils sont portés à une température très élevée et agglomérés sous forte pression lorsqu'il s'agit de houilles grasses; les houilles maigres sont agglutinées à l'aide d'argile ou de brai. L'agglomération par l'argile a l'inconvénient d'accroître la quantité de cendres; le brai (résidu de la distillation des goudrons de houille) élève la puissance calorifique des menus.

Le tableau XVI donne la composition et la puissance calorifique de deux sortes de briquettes allemandes.

TABLEAU XVI

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE DE BRIQUETTES ALLEMANDES

DÉSIGNATION	C	H	O+Az+S	EAU HYGROSCOPIQUE	CENDRES	RENDEMENT EN COKE	MATIÈRES VOLATILES autres que l'eau	PUISSANCE CALORIFIQUE	ABSTRACTION FAITE DES CENDRES ET DE L'EAU			PUISSANCE CALORIFIQUE calculée (formule de Mahler)
									C	H	O+Az	
	p. 100 —	p. 100 —	p. 100 —	p. 100 —	p. 100 —	p. 100 —	p. 100 —	cal. kil. —	p. 100 —	p. 100 —	p. 100 —	cal. kilogr. —
Briquettes de houille (Dahlhausen, veine profonde).....	83,24	4,05	4,39	1,06	7,26	»	»	7.816	90,8	4,4	4,8	8.765
Briquettes de houille (après distillation à l'abri de l'air).....	77,52	»	»	1,06	7,26	84,78	14,16	7.816	»	»	»	»
Briquettes de lignite (marque Prince-de-Bismarck).....	54,35	4,66	17,49	15,77	7,73	»	»	5.098	71,04	6,09	22,87	7.197,6
Briquettes de lignite (après distillation à l'abri de l'air).....	32,14	»	»	15,77	7,73	39,87	44,36	5.098	»	»	»	»

OBSERVATION. — D'après Bunte, *Karl Kutzbach, die Vergasung der Brennstoffe in Generatoren, insbesondere für Kraftgasbetriebe* (*Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, Bd. XLIX, 18 février 1905). Traduit dans le *Bulletin de la Société d'encouragement à l'Industrie nationale*, t. CVII, 30 avril 1905.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

GAZ MIXTE OU GAZ PAUVRE DE GAZOGÈNE POUVOIR CALORIFIQUE ET COMPOSITION CHIMIQUE

1. **Gaz mixte.** — Si on fait passer sur du carbone porté au rouge un mélange d'air et de vapeur d'eau, on obtient un mélange de gaz à l'air et de gaz à l'eau, c'est-à-dire un mélange formé en majeure partie d'anhydride carbonique, d'oxyde de carbone, d'hydrogène et d'azote, auquel on a donné le nom de *gaz mixte*, *gaz pauvre* ou *gaz Dowson*.

2. **Réactions de production du gaz mixte.** — Les réactions qui se produisent sont exprimées par les équations suivantes.

(I) $C + O = CO + 29.450$ calories-kilogrammes ;
(II) $C + O^2 = CO^2 + 97.650$ —
(III) $CO^2 + C = 2CO - 38.750$ —
(IV) $2C + 3H^2O = CO^2 + CO + 3H^2 - 47.200$ calories-kilogrammes.

On peut d'ailleurs réduire ces réactions aux deux suivantes.

$$3C + O^3 = 3CO + 88.350 \text{ calories-kilogrammes ;}$$
$$2C + 3H^2O = CO^2 + CO + 3H^2 - 47.200 \text{ calories-kilogrammes.}$$

Par un calcul simple, on trouve que ces réactions donnent naissance à $304^{m3},4$ d'un gaz dont la composition est la suivante :

	En volume	En poids
CO	29,3 0/0	36,625 kilogrammes
CO^2	7,3	14,381 —
H	22,0	1,980 —
Az	41,4	51,750 —
	100,0 mètres cubes	104,736 kilogrammes

Un kilogramme de carbone donne naissance à $5^{m3},07$ d'un gaz de densité 1,05 ; son pouvoir calorifique est de 1.574 calories par mètre cube à 0° et sous la pression normale (vapeur d'eau condensée) ou de 1.467 calories par mètre cube à 0° et sous la pression normale (vapeur d'eau non condensée). La production de 1 mètre cube de gaz nécessiterait 197 grammes de carbone.

Digitized by Google

En réalité, ces nombres sont théoriques. On n'utilise pas seulement dans les gazogènes du charbon de bois et du coke, c'est-à-dire des combustibles ne donnant pas de produits volatils et formés presque uniquement de carbone; on se sert d'anthracite, de charbons maigres donnant naissance, quand on les chauffe, à des hydrocarbures volatils tels que le méthane CH^4, l'éthylène C^2H^4,...

Ces produits volatils carburés donnent naissance à des réactions secondaires multiples dont les équations ci-dessous font connaître les résultats principaux

$$CH^4 + H^2O = CO + 6H - 47.550 \text{ calories-kilogrammes;}$$
$$CH^4 + CO^2 = 2CO + 4H - 57.650 \quad —$$
$$C^2H^4 + 2H^2O = 2CO + 8H - 42.700 \quad —$$
$$C^2H^4 + 2CO^2 = 4CO + 4H - 62.900 \quad —$$

Si ces réactions s'effectuaient complètement, il n'y aurait pas de carbures d'hydrogène dans le gaz produit. Mais, en réalité, cette transformation n'a pas lieu, et le gaz mixte produit par le passage d'un mélange d'air et de vapeur d'eau sur du charbon maigre porté au rouge contient, outre les gaz que nous avons indiqués plus haut, principalement du méthane et de l'éthylène.

Il est important, au point de vue de l'étude des gazogènes, de connaître le *pouvoir calorifique* et la *composition du gaz produit*. Ce sont ces déterminations que nous allons maintenant indiquer.

3. Pouvoir calorifique inférieur. — Pouvoir calorifique supérieur. — On appelle *pouvoir calorifique inférieur* (*Heizwert*, en Allemagne; *unterer Heizwert*, en Autriche) le nombre de calories-kilogrammes dégagées par la combustion complète de 1 mètre cube de gaz à 0° sous la pression normale, l'eau étant supposée à l'état de vapeur à 100°.

Le *pouvoir calorifique supérieur* (*Verbrennungswärme*, en Allemagne; *oberer Heizwert*, en Autriche) est égal au pouvoir calorifique inférieur augmenté de la quantité de chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'eau à 100° et par le refroidissement de l'eau produite de 100° à 15° C., soit environ 600 calories-kilogrammes par kilogramme d'eau.

La différence entre ces deux pouvoirs calorifiques est beaucoup plus considérable que celle qui existe entre les deux puissances calorifiques absolues des combustibles solides; elle peut en effet atteindre jusqu'à 7 à 8 0/0 du pouvoir calorifique inférieur.

Par contre, il n'y a pas lieu de spécifier si la combustion se fait à volume constant ou à pression constante, parce que la différence de ces deux pouvoirs calorifiques est négligeable [1].

4. Détermination du pouvoir calorifique par l'appareil de Mahler. — L'appareil de Mahler, que nous avons décrit plus haut, permet de connaître le *pouvoir calorifique supérieur d'un gaz combustible*. Pour cela on fait le vide dans l'obus exactement jaugé. On le remplit une première fois de gaz. On recommence la manœuvre de la machine pneumatique pour obtenir un nouveau vide de quelques millimètres de mercure. On remplit une dernière fois l'obus de gaz sous la pression atmosphérique et à la température du laboratoire.

L'opération s'achève comme nous l'avons indiqué pour les solides.

Toutefois il est bon de ne pas perdre de vue la circonstance suivante. Il faut se garder de diluer le gaz à étudier dans une quantité d'oxygène telle que le mélange cesse d'être combustible.

Avec le *gaz d'éclairage*, 5 *atmosphères* d'oxygène suffisent; avec les *gaz pauvres* (gaz à

[1] L. Marchis, *Thermodynamique*, t. II, p. 48 (Paris, Gauthier-Villars, 1905; Grenoble, A. Gratier).

Digitized by Google

l'air ou gaz mixte), il ne faut pas dépasser *une demi-atmosphère, mesurée au manomètre à mercure.*

Les gaz sur lesquels on opère sont emmagasinés dans des gazomètres à l'eau saturée de gaz ou à l'eau salée, suivant les cas ; ces gaz sont donc saturés d'humidité au moment de leur introduction dans la bombe.

La méthode de M. Mahler exige que l'on ait une machine pneumatique pour faire le vide dans la bombe.

5. Détermination du pouvoir calorifique par l'appareil de M. A. Witz. — M. Witz[1] a modifié ce procédé de manière à le rendre aussi simple que possible. Il a construit une bombe eudiométrique facile à manier, qui se prête au remplissage sur la cuve à mercure et supprime l'emploi de la machine pneumatique.

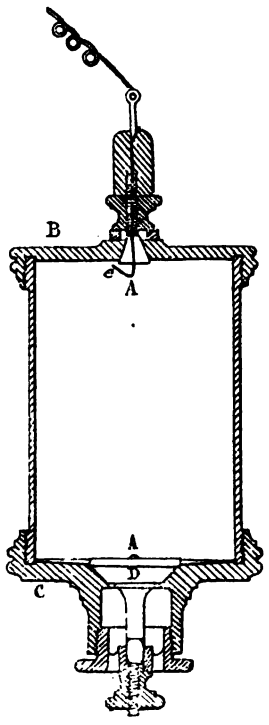


Fig. 27.
Calorimètre de M. A. Witz (Demi-grandeur d'exécution).

L'appareil de M. Witz est formé d'un cylindre d'acier A (*fig.* 27) de 60 millimètres de diamètre intérieur sur moins de 2 millimètres d'épaisseur ; sa hauteur est de 90 millimètres, ce qu lui donne une capacité d'environ 255 centimètres cubes. Deux couvercles B et C sont vissés sur le cylindre et en effectuent la fermeture hermétique par simple interposition d'un papier huilé. Le couvercle supérieur B porte l'excitateur d'étincelle *e* ; le couvercle inférieur C est muni d'une soupape autoclave D, qui débouche dans un ajutage cylindrique de 27 millimètres de diamètre. Ce second couvercle présente une déclivité de la circonférence au centre de manière à faciliter l'écoulement complet du mercure par l'ouverture centrale. Toutes les surfaces sont nickelées ; le constructeur indique son poids, afin que, par le calcul, on puisse déterminer le poids en eau.

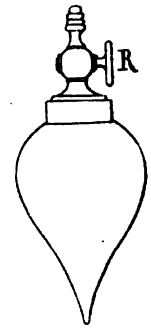


Fig. 28. — Ampoule de M. A. Witz pour la préparation du mélange combustible introduit dans le calorimètre.

La bombe étant complètement remplie de mercure, on la renverse sur ce liquide à la façon d'une éprouvette ; le mélange tonnant y est introduit, en le transvasant d'une cloche dans laquelle il a été préparé à l'avance ; on se sert pour cela d'un tube de caoutchouc que l'on amène à la partie inférieure de la bombe. Grâce à une pression convenable exercée sur la cloche qui contient le gaz, celui-ci passe dans la bombe en soulevant la soupape D. La forme conique du fond permet à la bombe de se vider complètement et de se remplir entièrement du mélange de gaz combustible et d'air, à une pression légèrement supérieure à la pression de l'atmosphère. On rétablit l'égalité en desserrant un peu la soupape D, pendant un instant très court, de manière à livrer issue à l'excès de gaz. On lit alors au baromètre la pression atmosphérique, et l'on prend pour température du gaz celle de la cuve à mercure.

Le mélange de gaz combustible et d'air est préparé sur la cuve à eau, en se servant de l'ampoule représentée sur la figure 28. Cette ampoule, fermée par un robinet R à la partie supérieure, se termine à la partie inférieure par un bout effilé ; le gaz ou l'air arrive par le

(1) A. Witz, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. I, p. 94 ; — voir aussi *Annales de chimie et de physique*, 6e série, t. VI, octobre 1885.

Digitized by Google

haut, au travers d'un tuyau de caoutchouc, et il se substitue lentement à l'eau qui s'écoule par le bout. On vide le contenu d'une ampoule dans une cloche, en glissant l'ampoule en dessous dans l'eau et en ouvrant le robinet R. Si l'on mélange 6 ampoules d'air et 1 ampoule de gaz, on a un mélange tonnant au 1/7°; c'est la proportion employée habituellement pour le *gaz de ville*. Pour les *gaz pauvres*, on fait de préférence un mélange de *un pour un*, l'air étant souvent additionné d'oxygène pour assurer une combustion complète.

La bombe étant remplie d'un mélange de gaz combustible et d'air ou d'oxygène, on l'introduit dans un calorimètre qui mesure 100 millimètres de diamètre sur 200 millimètres de hauteur et dans lequel on verse environ 1 litre d'eau jaugée à l'avance, de manière que la bombe soit bien noyée. On fait passer l'étincelle et on termine l'expérience comme nous l'avons indiqué plus haut dans la méthode de Mahler.

Prenons un exemple.

Mélange de 1 volume de gaz d'éclairage et de 6 volumes d'air

Poids d'eau contenue dans le calorimètre	999,865 grammes
Poids en eau du calorimètre, de la bombe et du thermomètre	120,994 —
Poids total en eau	1.120,859 —
Elévation de température	0°,1627
Température initiale du gaz	15° C.
Pression atmosphérique	776 mill. de mercure
Chaleur dégagée	182,4 calories-gr.

Le volume de la bombe étant égal à $0^{\text{mc}},257$, la quantité de chaleur dégagée par 1 mètre cube du mélange gazeux étudié, mesuré à 0° et sous la pression de 70 millimètres de mercure, est

$$\left(1 + 15\,\frac{1}{273}\right)\frac{760}{776} \times \frac{1000}{0,257} \times 182,4.$$

D'après la composition du mélange, cette expression représente la quantité de chaleur dégagée par $\frac{1}{7}$ de mètre cube de gaz d'éclairage mesuré à 0° sous la pression de 760 millimètres de mercure. La quantité de chaleur dégagée par 1 mètre cube de gaz d'éclairage mesuré à 0° et sous la pression de 760 millimètres de mercure, ou le *pouvoir calorifique supérieur du gaz d'éclairage*, est donc

$$\mathcal{P}_s = 7 \times \left(1 + 15 \times \frac{1}{273}\right)\frac{760}{776} \times \frac{1000}{0,257} \times 182,4 = 5.136.000 \text{ calories-grammes}$$

ou 5.136 calories-kilogrammes.

6. Méthode calorimétrique à température constante. — La méthode de la bombe calorimétrique, que nous venons d'exposer, est la seule méthode vraiment scientifique permettant de connaître le pouvoir calorifique d'un gaz. Sous la forme que lui a donnée M. Witz, elle est aussi vraiment industrielle. Toutefois elle demande une installation de laboratoire. Aussi a-t-on proposé d'autres méthodes qui, à première vue, semblent plus simples, mais sont, en réalité, d'une application aussi délicate que la précédente.

Toutes ces méthodes calorimétriques sont dérivées de la *méthode calorimétrique dite à température constante*, indiquée par M. d'Arsonval. Le principe de cette méthode est le suivant. Supposons qu'un phénomène dégageant de la chaleur se produise dans une certaine enceinte; si, au fur et à mesure de la production de ce phénomène, on absorbe, par un pro-

Digitized by Google

cédé convenable, la chaleur dégagée, la température de l'enceinte restera invariable et le phénomène se produira toujours dans les mêmes conditions de température ; *il pourra être observé dans des conditions bien déterminées.* Par exemple si, sous une pression constante, on fait brûler un gaz dans une enceinte à température invariable, la combustion se produisant toujours dans les mêmes conditions, les diverses expériences pourront être comparables entre elles. Or on maintient la température invariable en refroidissant immédiatement les gaz produits par la combustion et déterminant la quantité de chaleur qu'ils dégagent durant ce refroidissement. En d'autres termes, si la combustion a été complète, on peut déterminer le *pouvoir calorifique du gaz dans des conditions déterminées de température et de pression.* C'est sur ce principe que sont fondés les calorimètres que nous allons maintenant décrire.

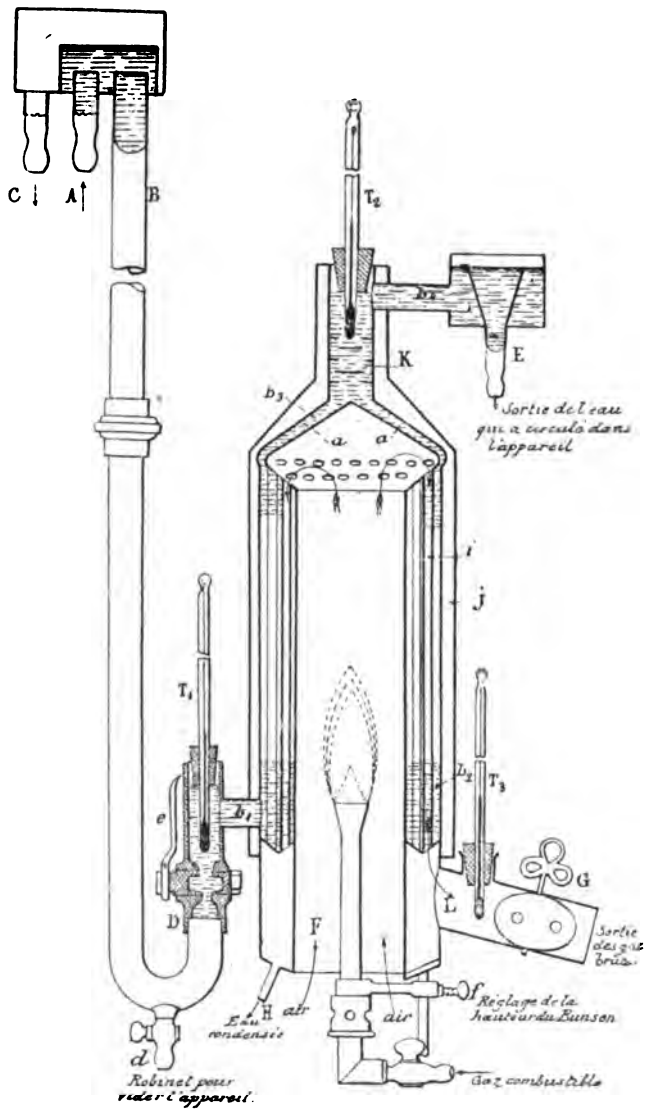


FIG. 29. — Calorimètre de Junkers.

7. Calorimètre de Junkers. — Le calorimètre de Junkers (1) est, de tous ceux de ce type, celui qui est employé presque exclusivement dans beaucoup de laboratoires industriels de l'étranger.

Dans cet appareil, un bec de gaz, à combustion aussi complète que possible, dont la consommation est déterminée par un compteur, brûle au milieu d'une enceinte dont la paroi est traversée par un courant d'eau coulant continuellement et à vitesse aussi constante que possible. Les produits de la combustion passent, à leur sortie de la chambre de combustion, dans une série de tubes métalliques autour desquels circule le courant d'eau du calorimètre ; les gaz se refroidissent, l'eau s'échauffe. On note la température de l'eau à son entrée dans le calorimètre et sa température à la sortie. Si la dépense du bec et le débit du liquide ont été réglés de telle manière que ces deux températures soient sensiblement stationnaires, il suffit dans une expérience de *connaître*,

(1) La méthode du calorimètre de Junkers est décrite avec soin dans les publications suivantes :
A. WITZ, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. I, p. 92 ;
Revue de Mécanique, t. I, 1897, p. 491 ;
A. LECOMTE, *De l'emploi du calorimètre Junkers* (Société technique de l'industrie du gaz en France, XXXe Congrès, mai 1903).
Theodor IMMENKÖTTER, *Uber Heizwertbestimmungen mit besonderer Berücksichtigung gasförmiger und flüssiger Brennstoffe* (Munich, R. Oldenbourg, 1905).

Digitized by Google

d'une part, ces deux températures; d'autre part, le volume du gaz écoulé pendant un temps déterminé à partir du moment où les deux températures sont devenues stationnaires; enfin, le *poids d'eau débité*. Avec ces données, on peut avoir le pouvoir calorifique cherché au moyen d'une formule jointe par le constructeur à l'appareil.

La figure 29 représente un tel appareil.

La flamme du gaz soumis à l'essai, alimentée par un Bunsen, brûle dans un récipient en cuivre fermé en *a*. Les gaz chauds de la combustion traversent de bas en haut, puis de haut en bas, vers leur évacuation L, un faisceau de tubes *i* entourés de la circulation d'eau dont nous avons parlé plus haut; l'évacuation L des gaz brûlés est d'ailleurs réglable en G par un papillon convenable. La circulation d'eau se fait en sens inverse de la marche des gaz brûlés par b_1, b_2, b_3, K, b_4 et le niveau constant E. Pour obtenir un écoulement constant de l'eau, le liquide arrive par A dans un récipient à déversoir avec réglage de niveau par un trop-plein : la différence de niveau qui provoque le mouvement de l'eau ne varie donc pas au cours de l'expérience; la vitesse s'établit et reste uniforme. Sur le parcours du liquide avant son entrée dans le calorimètre, se trouve un robinet D muni d'un index *e*, par lequel on peut modifier le débit. La masse d'eau en circulation varie donc au gré de l'expérimentateur. Les thermomètres T_1 et T_2 donnent la température de cette eau à l'entrée, puis à la sortie, après mélange par les chicanes K des diverses parties du fluide. Enfin, le calorimètre est protégé contre le rayonnement par une enveloppe nickelée polie *j*, qui ménage un coussin d'air entre les deux surfaces métalliques en présence.

La vapeur d'eau condensée est d'ailleurs recueillie en H et permet de connaître la puissance calorifique inférieure, l'appareil donnant directement la puissance calorifique supérieure.

Voici comment, avec cet appareil, on peut réaliser un essai.

1° Après avoir monté les thermomètres et les différents caoutchoucs, on ouvre le robinet d'arrivée de l'eau en A; on règle ensuite le robinet D, de telle sorte que l'eau coule bien régulièrement en E; on règle enfin l'ouverture du robinet d'arrivée d'eau en A, de manière que l'eau s'écoule très régulièrement par le trop-plein C, sans débordements.

Il faut toujours prendre le plus grand soin d'établir la circulation d'eau avant d'allumer le Bunsen.

2° Après avoir allumé le Bunsen et avoir réglé la bague d'air de manière à avoir un cône vert de 1 centimètre environ de hauteur, on observe l'appareil et on attend le moment où les trois thermomètres T_1, T_2, qui donnent les températures de l'eau de circulation, et T_3, qui indique la température des gaz brûlés à la sortie de l'appareil, ont pris une position fixe.

La différence entre les températures des thermomètres T_1 et T_2 indique l'élévation de la température de l'eau de circulation. Le thermomètre T_3 doit être à la même température qu'un quatrième thermomètre donnant, dans la pièce où l'on opère, la température de l'air ambiant. Si T_3 indique une température plus élevée, le papillon G étant grand ouvert, c'est qu'on dépense trop de gaz; il faut fermer un peu le robinet d'arrivée de celui-ci. Si, au contraire, les gaz sortent plus froids, ce qui peut très bien arriver dans le cas où l'eau est beaucoup plus froide que l'air de la pièce, il suffit de fermer un peu le papillon G, afin de diminuer la quantité d'air entraînée par le brûleur ou encore augmenter la dépense du brûleur.

Si les circonstances le permettent, il y a intérêt à régler la circulation d'eau de telle façon qu'elle s'échauffe au-dessus de la température ambiante d'un nombre de degrés égal à la différence de température entre l'air ambiant et l'eau à son entrée dans l'appareil.

3° L'appareil étant bien réglé, pour faire un essai, on tare soigneusement un récipient d'une contenance d'environ 2 litres. Au moment précis où l'aiguille du compteur d'expérience qui alimente le Buns en passe sur zéro, on met dans le récipient l'extrémité du caout-

Digitized by Google

chouc du tuyau E. On note soigneusement les températures T_1 et T_2; s'il y a des variations pendant l'essai, on les note de manière à pouvoir établir une moyenne. Quand on a consommé 3 à 4 litres pour le gaz d'éclairage, 4 à 8 litres pour le gaz à l'eau, 10 à 20 litres pour le gaz de gazogène, on arrête l'expérience en retirant le caoutchouc du récipient.

En Allemagne, on se sert d'un compteur qui sonne tous les litres. En France, avec les compteurs d'expérience, il faut se rappeler que l'aiguille qui indique les consommations d'une heure par observation d'une minute indique 1 litre pour 60 à l'heure; ainsi, quand l'aiguille passe sur 60, le compteur a mesuré 1 litre; pour 4 litres, il faudra avoir 240 divisions.

Voici un exemple numérique.

Consommation de gaz d'éclairage		4 litres
Pression du gaz en centimètres d'eau		24 centimètres
Pression barométrique		750 millimètres
Température ambiante		18° C.
Poids d'eau de circulation		956 grammes
Température moyenne de l'eau	à l'entrée... 8°,2	
	à la sortie.. 30°,3	
Différence		22°,1
Température des gaz brûlés à la sortie		18°

Calculs

Sans tenir compte de l'eau condensée (Pouvoir calorifique supérieur)

Calories-kilogrammes par 4 litres ..... $22{,}1 \times 0{,}956 = 21{,}13$

Calories-kilogr. par mètre cube à 18° et 760^{mm} .. $\frac{21{,}13 \times 1000}{4} = 5282{,}5$

— — 0° et 760^{mm} ... $5282{,}5 \times \frac{760}{750}\left[1 + \frac{18}{273}\right]$

Pouvoir calorifique supérieur = 5.705 calories-kilogrammes.

8. **Calorimètre de M. A. Lecomte** (1). — Dans le calorimètre de Junkers, on suppose que toute la chaleur dégagée par le refroidissement des gaz de la combustion est absorbée par l'eau de circulation, celle-ci ne rayonnant pas à l'extérieur. Il convient donc que l'élévation de température de cette eau ne soit pas trop considérable et, de plus, qu'elle soit bien protégée contre le rayonnement vers l'extérieur. Cette protection est insuffisante dans le calorimètre de Junkers et, de ce chef, M. Hendrickson a trouvé des variations du pouvoir calorifique atteignant 2 0/0 en opérant sur le même gaz, suivant le rapport établi entre le débit de l'eau et celui du gaz.

M. A. Lecomte a cherché à remédier à ce manque d'exactitude du calorimètre de Junkers en construisant le calorimètre représenté sur la figure 30.

L'appareil se compose de deux enceintes concentriques à circulation d'eau A et B reliées entre elles par six ajutages C placés à la partie supérieure; ces enceintes sont protégées contre le refroidissement par une seconde enveloppe K, nickelée, emprisonnant une couche d'air sans circulation.

L'eau est introduite dans l'appareil par un tube D surmonté d'un col de cygne E se déversant dans un bassin avec tube de trop-plein F; une ampoule cylindrique G intercalée sur le parcours de l'eau reçoit le thermomètre T_1 qui indique la température de l'eau à l'entrée

(1) A. Lecomte, *Essais calorimétriques du gaz* [Société technique de l'industrie du gaz en France, XXXIIe Congrès juin 1905 (Paris, 105, rue Saint-Lazare)].

Digitized by Google

enfin deux tubes *a* et *b* partagent dans une proportion définie le courant d'eau entre les deux enceintes A et B.

Le courant d'eau ascendant se réunit, à la sortie des deux enceintes, dans un petit collecteur H; c'est là, dans le courant d'eau bien mélangé, qu'est plongé le thermomètre T_2 qui indique l'élévation de température de l'eau. Enfin, par le déversoir I et par le tube J, l'eau s'écoule dans un bassin, où on peut la recueillir et la peser.

Le robinet N sert à proportionner le courant d'eau au volume de gaz brûlé, de manière à limiter au degré voulu l'élévation de température du thermomètre T_2.

Les gaz produits par la combustion du brûleur L montent à l'intérieur de la première enceinte A, redescendent entre les deux enceintes A et B et s'échappent par les trous de la couronne annulaire M.

Deux petits tubes *ac* et *bc* donnent respectivement l'eau de condensation provenant des enceintes A et B.

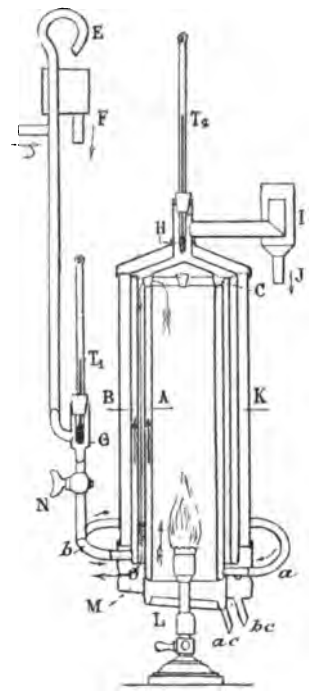


Fig. 30. — Calorimètre de M. A. Lecomte. (Coupe de l'appareil.)

La quantité d'eau qui circule dans l'enceinte A est plus grande que celle qui circule dans l'enceinte B, parce que les gaz circulant dans cette dernière sont beaucoup moins chauds que ceux qui circulent dans la première.

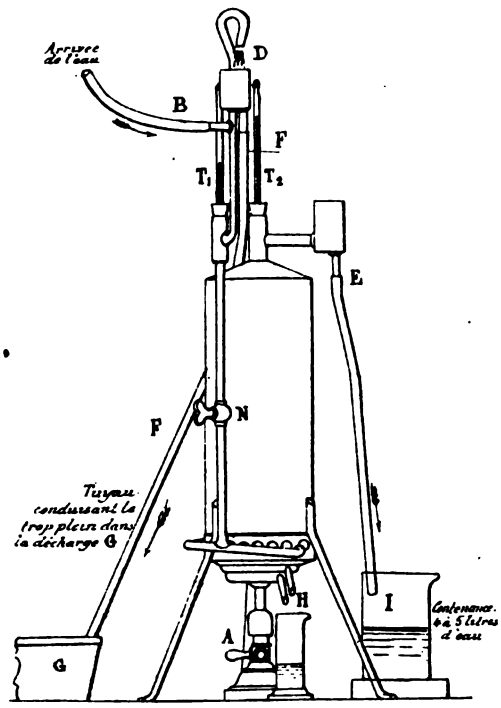


Fig. 31. — Calorimètre de M. A. Lecomte. (Installation de l'appareil.)

Dans des expériences préliminaires, M. Lecomte a constaté que l'excès moyen de température de l'enceinte B sur l'extérieur est, dans son appareil, plus de moitié moins grand que s'il n'y avait eu qu'une seule enceinte refroidissante A. Dans ces conditions, les précautions prises contre le rayonnement de l'eau de circulation sont suffisantes.

La figure 31 représente l'installation de l'appareil.

Pour effectuer un essai, on ouvre le robinet d'arrivée d'eau en B, puis le robinet N en grand; on s'assure que l'eau circule bien. On allume ensuite le bec A à un débit déterminé qui doit être de 120 à 150 litres environ à l'heure s'il s'agit de gaz d'éclairage, de 360 à 450 litres environ à l'heure s'il s'agit de gaz à l'eau, de 600 à 750 litres environ à l'heure s'il s'agit de gaz de gazogène. La flamme du bec doit comporter une zone verte de 8 millimètres à 1 centimètre de hauteur.

On ferme ensuite peu à peu le robinet N de manière à établir une différence de température de 10° environ entre le thermomètre T_1 et le thermomètre T_2.

Digitized by Google

On fera bien de laisser marcher le calorimètre pendant un quart d'heure, pour être sûr que le régime est bien établi, avant de commencer l'essai.

L'éprouvette H placée sous le calorimètre recueille l'eau de condensation provenant de la combustion du gaz.

Les opérations de l'essai sont les suivantes.

1° Tarer le vase I (*fig.* 31);

2° Plonger le caoutchouc E dans le vase I, quand l'aiguille du compteur d'expérience passe au 0;

3° Noter les températures marquées par le thermomètre T_2 quand l'aiguille du compteur passe sur 60 (1 litre de gaz consommé), sur 120 (2 litres de gaz consommé), sur 180 (3 litres de gaz consommé);

4° Prendre le caoutchouc E en main et, au moment précis où l'aiguille passe sur 240 (4 litres de gaz consommé), retirer le caoutchouc du vase.

Voici le calcul d'un essai.

T_1, température de l'eau à l'entrée			16° C.
T_2, température de l'eau à la sortie	l'aiguille du compteur passe sur 0,	27,8	
	— 60,	27,6	
	— 120,	27,8	Moyenne 27°,8
	— 180,	27,8	
	— 240,	27,9	
Différence des températures $T_2 - T_1$			11°,8
Poids de l'eau dans le vase pour 4 litres de gaz dépensé			1,705 kilog.
Calories-kilogrammes développées par la combustion de 4 litres de gaz		$1,705 \times 11,8 =$	20,119 cal.-kil.
Pouvoir calorifique supérieur du gaz par mètre cube à 16° C., pression 760mm		$\frac{20,119 \times 1.000}{4} =$	5.029 cal.-kil.
Pouvoir calorifique supérieur par mètre cube à 0°, pression 760mm :		$5.029 \times 1,058 =$	5.320 —

Il existe d'autres modèles de ce type de calorimètre que nous venons d'étudier. Signalons le *calorimètre de Simmance*, peu différent du calorimètre de Junkers, et le *calorimètre à enregistrement continu de M. Speller* (1).

Nous venons d'indiquer les méthodes qui permettent de mesurer le pouvoir calorifique d'un gaz de gazogène.

9. Principe de l'analyse d'un gaz de gazogène. — Il reste à traiter la question de l'analyse de ce gaz.

Sans entrer dans tous les détails de cette question si complexe de l'analyse d'un mélange gazeux, nous allons indiquer deux méthodes industrielles suffisamment exactes, qui permettent de se rendre compte de la composition du gaz produit.

Un gaz de gazogène est, comme nous l'avons dit, formé d'un mélange de CO^2, O, C^2H^4, CO, H, CH^4 et Az.

On détermine les proportions de CO^2, O et C^2H^4 en les absorbant par des corps convenables; quant à la teneur en CO, H, CH^4, on l'obtient par une analyse eudiométrique en brûlant le mélange dans un excès convenable d'air; enfin l'azote se dose par différence.

(1) On trouvera la description de ces calorimètres dans *Revue de Mécanique*, t. XVI, mai 1905, p. 470.

Digitized by Google

Les absorbants employés sont :

Pour CO^2, une lessive de potasse (250 grammes de potasse caustique par litre d'eau) ;

Pour O, une dissolution de pyrogallate alcalin[1] ;

Pour C^2H^4, de l'acide sulfurique fumant (poids spécifique, 1,938).

Dans le mélange $CO + H + CH^4$, on introduit une quantité convenable d'air ; comme on connaît la composition de l'air, formé de 21 0/0 d'oxygène et de 79 0/0 d'azote, on sait la quantité d'oxygène introduite. Après le passage d'une étincelle électrique dans le mélange, il s'est formé de l'anhydride carbonique et de l'eau qui s'est condensée. Une diminution de volume s'est produite ; désignons-la par Σ. Le mélange gazeux qui reste après le passage de l'étincelle contient de l'anhydride carbonique, de l'oxygène en excès et de l'azote. On absorbe l'anhydride carbonique et l'oxygène, il reste l'azote. En retranchant le volume de l'azote introduit avec l'air, il reste l'azote qui, dans le gaz de gazogène, était primitivement mélangé à $CO + H + CH^4$. Il est donc facile d'obtenir le volume de ce dernier mélange gazeux ; désignons-le par V.

Nous allons voir que la connaissance de Σ, de V et du volume d'anhydride carbonique formé dans l'analyse eudiométrique nous permet de connaître les teneurs de CO, H et CH^4 dans le gaz de gazogène.

Les réactions qui expriment les combustions de ces trois gaz sont, en effet, représentées par les équations suivantes.

Combustion de l'oxyde de carbone :

$$CO + O = CO^2.$$

Un volume U_1 d'oxyde de carbone brûlant en présence d'un volume $\frac{U_1}{2}$ d'oxygène donne naissance à un volume U_1 d'anhydride carbonique, tous ces volumes étant mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression. La diminution de volume qui se produit dans la combustion de l'oxyde de carbone est donc égale à

$$U_1 + \frac{U_1}{2} - U_1 = \frac{U_1}{2}.$$

Combustion du méthane :

$$CH^4 + 4O = CO^2 + 2H^2O.$$

Si la vapeur d'eau est entièrement condensée, un volume U_2 de méthane brûlant dans un volume $2U_2$ d'oxygène donne naissance à un volume U_2 d'anhydride carbonique. La diminution de volume, qui se produit dans la combustion du méthane, est donc égale à

$$U_2 + 2U_2 - U_2 = 2U_2.$$

Combustion de l'hydrogène :

$$H^2 + O = H^2O.$$

[1] Le pyrogallate de potasse se prépare au moment même où on fait l'expérience, en versant une solution aussi concentrée que possible d'acide pyrogallique sur un fragment de potasse humide placé préalablement dans le vase où doit s'effectuer la réaction. La solution d'acide pyrogallique se prépare aussi au moment de l'expérience en ajoutant un peu d'eau bouillie à un grand volume d'acide pyrogallique solide ; en général, malgré la grande solubilité de l'acide pyrogallique, il reste une partie insoluble formée d'acide gallique.

Lorsqu'on fait passer la solution pyrogallique, à peu près incolore, dans un gaz contenant de l'oxygène en présence d'un excès de potasse, le liquide prend immédiatement une teinte brun foncé.

Digitized by Google

Si la vapeur d'eau est entièrement condensée, la diminution de volume produite par la combustion complète d'un volume U_3 d'hydrogène est égale à

$$U_3 + \frac{1}{2} U_3 = \frac{3}{2} U_3.$$

Si dès lors on a un mélange des trois gaz $CO + H + CH^4$ de volume

$$V = U_1 + U_2 + U_3;$$

si l'on ajoute à ce mélange un volume d'oxygène égal à

$$\frac{U_1}{2} + 2U_2 + \frac{U_3}{2},$$

de manière à avoir un volume gazeux total égal à

$$V + \frac{U_1}{2} + 2U_2 + \frac{U_3}{2} = \frac{3}{2} U_1 + 3U_2 + \frac{3}{2} U_3,$$

et si, dans ce dernier mélange, on fait passer des étincelles électriques, le nouveau volume de gaz sera

$$U_1 + U_2,$$

car la diminution de volume a été

$$\Sigma = \frac{U_1}{2} + 2U_2 + \frac{3}{2} U_3.$$

Enfin le volume de l'anhydride carbonique formé est égal à la somme des volumes de l'oxyde de carbone et du méthane existant dans le mélange primitif. Si on désigne ce volume d'anhydride carbonique par W (déterminé directement dans l'expérience), on a l'équation

$$W = U_1 + U_2.$$

Les trois équations

$$\begin{cases} V = U_1 + U_2 + U_3, \\ W = U_1 + U_2, \\ \Sigma = \frac{1}{2} U_1 + 2U_2 + \frac{3}{2} U_3, \end{cases}$$

dans lesquelles l'expérience permet de connaître V, W, Σ, donnent, pour la composition du mélange $CO + H + CH^4$, les valeurs suivantes des volumes U_1, U_2, U_3.

$$\begin{cases} U_1 = \frac{1}{3} W + V - \frac{2}{3} \Sigma, \\ U_2 = \frac{2}{3} W - V + \frac{2}{3} \Sigma, \\ U_3 = V - W. \end{cases}$$

Digitized by Google

10. Appareil pour l'analyse des gaz des gazogènes. — L'appareil représenté sur la figure 32 comprend trois parties qui correspondent aux trois fonctions suivantes (1) :

1° Mesure du volume des gaz ;

2° Absorption d'une partie des gaz du mélange ;

3° Combustion d'une partie des gaz du mélange.

L'appareil de mesure du volume des gaz se compose d'un tube calibré *a*, d'un tube de niveau *b* et d'un vase *c* que l'on peut faire monter ou descendre et au moyen duquel on peut faire varier dans les tubes *a* et *b* le niveau soit de l'eau, soit du mercure contenu à l'intérieur. La burette *a* porte à ses extrémités deux robinets à trois voies ; le robinet inférieur peut faire communiquer la burette soit avec le tube *b*, soit avec une poire en caoutchouc *d*. Enfin, la burette est divisée et chaque division vaut $0^{cm3},2$; la division est d'ailleurs double ; sur un des côtés du tube le zéro est en haut, sur l'autre le zéro est en bas.

En agissant sur la poire *d*, on peut amener le gaz à étudier dans le tube *a* en le faisant passer au travers d'une matière filtrante contenue dans le tube *e*.

L'appareil d'absorption se compose de trois vases *g*, formés chacun d'une chambre de réaction g_1 et d'un vase *g* par lequel on introduit le réactif ; ce dernier est fermé par un bouchon, afin d'empêcher l'air atmosphérique de venir en contact avec le liquide absorbant. Si on compte ces vases de haut en bas, on trouve d'abord le vase à lessive de potasse, puis le vase à dissolution d'un pyrogallate alcalin, enfin le vase contenant l'acide sulfurique fumant. Tous ces réactifs remplissent le vase g_1 jusqu'au coude qui est le commencement de la partie capillaire sensiblement horizontale (bien que faiblement relevée vers le haut) qui termine le vase g_1.

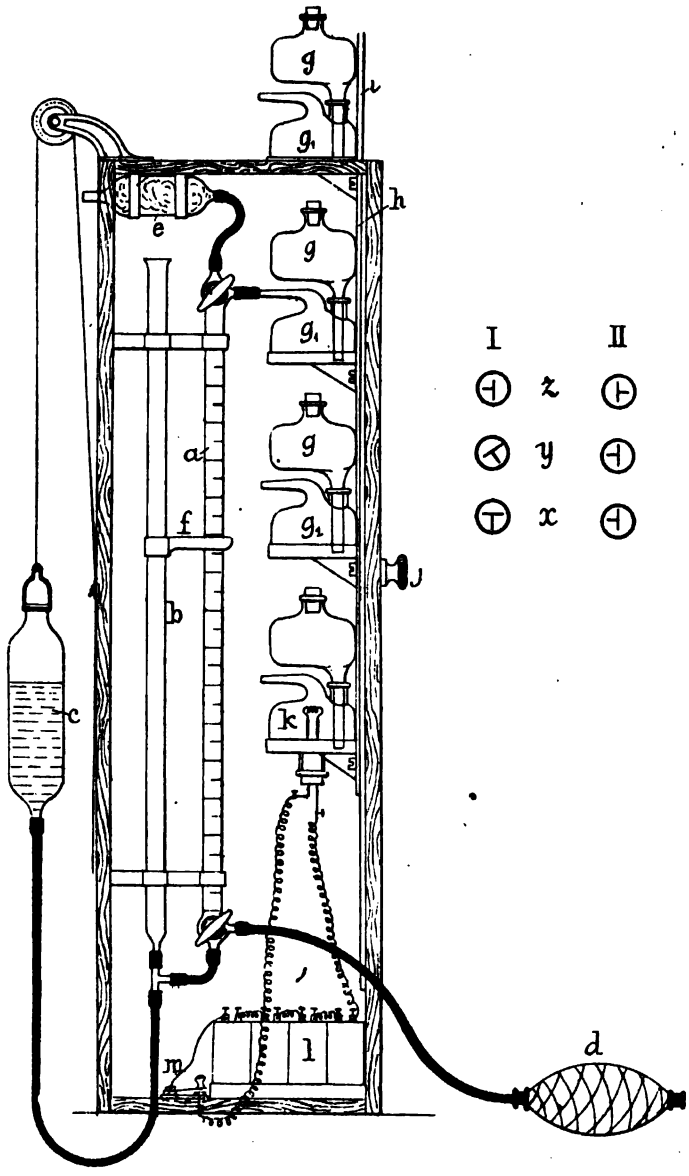


Fig. 32. — Appareil industriel pour l'analyse des gaz des gazogènes.

(1) Il existe un grand nombre d'appareils permettant l'analyse industrielle des gaz de gazogènes. Citons les appareils de Orsat, de Coquillion, de Dupré, d'Hempel. On les trouve décrits dans l'ouvrage de M. Ogier, *Analyse des gaz* (*Encyclopédie chimique* de Frémy).

L'appareil que nous décrivons ici et qui, malgré de nombreux défauts, est très facile à manier et très robuste, est décrit dans l'ouvrage suivant :

Paul Fuchs, *Generator Kraftgas und Dampfkessel-Betrieb* (Berlin, J. Springer, 1905).

Digitized by Google

Ces vases à réaction sont supportés par des plateaux métalliques qui peuvent se déplacer le long de la potence *h* et sont maintenus en place par des vis de pression telles que *j*. De cette façon on peut facilement amener chacun de ces vases au niveau du robinet supérieur de la burette *a*.

L'appareil à combustion se compose d'un vase d'une forme analogue à celle des vases à réaction. Mais, dans la partie *k*, on fait arriver les deux pôles d'une pile *l* réunis par un fil de platine. Un interrupteur *m* permet de faire passer le courant et de porter le fil de platine au rouge blanc de manière à enflammer le mélange gazeux au milieu duquel il se trouve (1). Ce vase à combustion est rempli d'eau distillée privée d'air jusqu'au coude du tube capillaire qui termine le vase *k*.

Voici comment on peut se servir de cet appareil.

1° Les deux robinets à trois voies (I, robinet supérieur; II, robinet inférieur) de la burette *a* se trouvent dans la position *z*. Le vase *c* est placé dans une position telle que le liquide qu'il contient vienne affleurer au robinet inférieur II et supprime la communication entre les tubes *a* et *b*. En agissant sur la poire *d*, on aspire alors le gaz dans le tube *a* et on l'évacue par *d* à l'extérieur. Quand on a fait passer un volume de gaz suffisant, on peut considérer que l'air a été complètement chassé et que la burette *a* est remplie du gaz pur que l'on veut étudier.

On tourne alors le robinet II de manière à le placer dans la position *y* et on soulève légèrement le vase *c* de telle façon que le liquide obturateur traverse le robinet inférieur II et entre dans la burette. A ce moment on met le robinet supérieur I dans la position *y*. Le gaz est enfermé dans la burette *a*, et on peut procéder à la détermination de son volume. Pour cela on déplace le vase *c* jusqu'à ce que le niveau du liquide obturateur soit le même en *a* et en *b*; cette égalité de niveau peut être facilement constatée au moyen d'un curseur *f* que l'on déplace le long du tube *b*.

On lit à ce moment le volume du gaz; supposons qu'il soit égal à $94^{cm3},8$ à la température du laboratoire et sous la pression de l'atmosphère.

2° On relie alors le robinet supérieur I avec la partie capillaire du vase à réaction contenant la lessive de potasse. On place les robinets I et II dans la position *x*, et on soulève lentement le vase *c*. Le liquide obturateur monte dans la burette *a*, pousse devant lui le gaz; celui-ci pénètre dans le vase à réaction g_1, repousse la lessive de potasse qui monte dans le vase *g*. On cesse de faire monter le vase *c* dès que le liquide obturateur vient à passer par le robinet I.

Quand on a laissé le gaz en contact pendant quelque temps avec la lessive de potasse, on redescend le vase *c*, on ramène le gaz dans la burette *a* jusqu'à ce que la lessive de potasse arrive dans la partie capillaire du vase g_1. On recommence plusieurs fois l'opération précédente jusqu'à ce que l'on soit certain que l'anhydride carbonique a été bien absorbé.

On redescend une dernière fois le vase *c* et, quand la lessive de potasse arrive dans la partie capillaire du vase g_1, on tourne le robinet supérieur I dans la position *y*.

On déplace le vase *c* jusqu'à ce que le niveau du liquide obturateur soit le même en *a* et en *b*.

On lit le volume du gaz restant dans la burette *a*, soit $90^{cm3},2$.

3° Au vase à réaction contenant la lessive de potasse on substitue le vase à réaction contenant la solution de pyrogallate alcalin.

(1) Lorsqu'un mélange de gaz tonnant est en contact avec un fil de platine porté au rouge blanc, on obtient une explosion comme avec l'étincelle. Quelques auteurs, notamment M. Coquillion, préfèrent un fil de palladium [Voir Ogier, *Analyse des gaz* (*Encyclopédie chimique* de Frémy, t. IV, p. 148)].

Digitized by Google

On recommence la série des opérations précédentes. On réalise ainsi l'absorption de l'oxygène.

Soit $89^{cm3},9$ le volume de gaz restant dans la burette à la fin de cette opération.

4° On absorbe, en suivant le même mode opératoire, l'éthylène au moyen d'acide sulfurique fumant.

Soit $89^{cm3},7$ le volume du gaz restant dans la burette à la fin de cette opération.

5° Il ne reste plus dans la burette qu'un mélange formé de

$$CO + H + CH^4 + Az.$$

Dans le cas actuel, si on voulait brûler les $89^{cm3},7$ de gaz restant, il faudrait introduire un volume d'oxygène ou d'air tel que le volume total mesuré sous la pression atmosphérique serait supérieur au volume de la burette *a*.

On laisse alors échapper une partie du gaz et on en prend par exemple $34^{cm3},2$.

6° On place le robinet supérieur I dans la position *x*. On laisse rentrer de l'air dans la burette *a*. On place le robinet I dans la position *y*, de manière à enfermer un mélange de gaz et d'air dans la burette. On soulève et on abaisse plusieurs fois le vase *c*, afin de bien mélanger les gaz dans la burette *a*.

On amène le liquide obturateur à être au même niveau dans les tubes *a* et *b*. On mesure le volume du gaz.

Supposons que l'on trouve $70^{cm3},9$ pour le volume du mélange gazeux. Celui-ci se compose des $34^{cm3},2$ de gaz dont nous avons parlé plus haut et de (70,9 — 34,2) ou de $36^{cm3},7$ d'air.

7° On amène le vase à combustion au niveau du robinet supérieur I. On place celui-ci dans la position *x*. En soulevant le vase *c*, on fait entrer le mélange gazeux dans le vase *k*. On porte alors le fil de platine au rouge blanc, de manière à enflammer le mélange.

On ramène le nouveau mélange gazeux dans la burette *a*. On recommence la série des opérations précédentes un certain nombre de fois, afin d'être assuré que les gaz combustibles sont bien brûlés.

On ramène une dernière fois le mélange gazeux dans la burette *a*. On met le robinet I dans la position *y*. On amène le liquide obturateur à être au même niveau dans les deux branches *a* et *b*. On mesure le volume gazeux.

On trouve $58^{cm3},3$.

Par suite de la combustion, il y a donc eu une diminution de volume égale à

$$70,9 - 58,3 = 12^{cm3},6.$$

Par suite, on peut poser

$$\Sigma = 12^{cm3},6.$$

8° On recommence avec ce nouveau mélange de gaz la série des opérations nécessaires pour l'absorption de l'anhydride carbonique. On trouve ainsi

$$W = 6^{cm3},2.$$

9° On absorbe l'oxygène en excès, soit $1^{cm3},2$.

10° Il reste $50^{cm3},9$ d'azote. Or avec l'air on a introduit 29 centimètres cubes d'azote. Il y avait donc dans le mélange de gaz soumis à la combustion

$$50,9 - 29 = 21^{cm3},9.$$

Digitized by Google

Par suite, le volume V du mélange $CO + CH^4 + H$ est

$$V = 34,2 - 21,9 = 12^{cm3},3.$$

Voici le calcul de l'expérience.

Volume gazeux primitif	94^{cm3}	,8
Après absorption de CO^2	90	,2
Volume de CO^2	4	,6
Après l'absorption de l'oxygène	89	,9
Volume de O	0	,3
Après l'absorption de l'éthylène	89	,7
Volume de C^2H^4	0	,2
Volume des gaz soumis à la combustion	34	,2
Volume de l'air ajouté	36	,7
Cet air est formé de	29	,0 d'azote
	7	,7 d'oxygène
Volume total de l'air et du mélange de gaz avant la combustion	70	,9
Volume du mélange gazeux après la combustion	58	,3
Diminution de volume par suite de la combustion : $\Sigma = 70,9 - 58,3 =$	12	,6
Volume du mélange gazeux après l'absorption de CO^2.	52	,1
Volume de CO^2 $W = 58,3 - 52,1 =$	6	,2
Volume du mélange gazeux après l'absorption de l'oxygène en excès	50	,9
Volume de l'azote introduit avec l'air au moment de la combustion	29	,0
Volume de l'azote dans le mélange gazeux avant la combustion $50,9 - 29,0 =$	21	,9
Volume du mélange $CO + CH^4 + H$ avant la combustion : $V = 34,2 - 21,9 =$	12	,3
Volume de CO $U_1 = \frac{1}{3} \times 6,2 + 12,3 - \frac{2}{3} \times 12,6 =$	5	,9
Volume de CH^4 $U_2 = \frac{2}{3} \times 6,2 - 12,3 + \frac{2}{3} \times 12,6 =$	0	,1
Volume de H $U_3 = 12,3 - 6,2 =$	6	,1

La composition centésimale du mélange de gaz étudié est alors :

CO^2	$\frac{4,6 \times 100}{94,8} =$	4,8 0/0
O	$\frac{0,3 \times 100}{94,8} =$	0,3 —
C^2H^4	$\frac{0,2 \times 100}{94,8} =$	0,2 —
CO	$\frac{5,9 \times 100}{34,2} =$	17,2 —
CH^4	$\frac{0,1 \times 100}{34,2} =$	2,9 —
H	$\frac{6,1 \times 100}{34,2} =$	17,8 —
Az (calculé par différence entre 100 et la somme des nombres précédents)	=	56,8 —
		100,0

Digitized by Google

11. Causes d'erreur de la méthode d'analyse qui précède. — Il importe de faire ici quelques remarques.

La grande teneur en azote des gaz de gazogènes a pour effet d'accroître la difficulté de l'analyse de ces gaz et de diminuer l'exactitude et la sensibilité des méthodes du type de celle que nous venons de décrire.

En effet, d'après les expériences de M. Vivian Lewes sur le gaz de houille, il faut compter au moins quinze minutes d'*agitation* du mélange gazeux avec chaque réactif pour être sûr d'absorber le gaz correspondant. Cette durée de contact doit être beaucoup plus grande avec les gaz de gazogènes riches en azote, surtout lorsqu'on ne peut pas agiter le mélange gazeux avec le réactif.

Aussi, dans la méthode que nous avons décrite, importe-t-il, si l'on ne veut pas commettre d'erreurs grossières, de recommencer plusieurs fois l'opération de mise en contact du mélange gazeux avec chaque réactif approprié.

D'autre part, dans l'analyse eudiométrique, les gaz combustibles peuvent être dilués dans une masse de gaz inertes trop considérable pour que le mélange puisse brûler. Aussi est-il bon de substituer souvent de l'oxygène pur à l'air pour la combustion.

Mais, même dans le cas où l'on introduit de l'oxygène pur, il convient de ne pas en introduire un trop grand excès, l'excès de ce gaz diminuant la combustibilité du mélange soumis à l'analyse eudiométrique.

Enfin il faut introduire des quantités suffisantes d'air ou d'oxygène. Les quantités minima à introduire *par centimètre cube de gaz combustible* sont

	Air	Oxygène
Pour les gaz mixtes de gazogènes.	$1^{cm3},1$ à $1^{cm3},5$	$0^{cm3},25$ à $0^{cm3},35$
Pour le gaz à l'eau	3^{cm3} environ	$0^{cm3},75$ environ

12. Autre manière de conduire la détermination de la composition d'un gaz pauvre. — Absorption de CO. — Au lieu de déterminer la teneur en CO par analyse eudiométrique, on emploie souvent la méthode d'absorption de l'oxyde de carbone par une dissolution de *chlorure cuivreux acide*(1). L'analyse eudiométrique est employée pour déterminer les teneurs en H, CH^4 et C^2H^4. La suite des opérations à faire est alors la suivante :

Absorption de CO^2 — Absorption de O — Absorption de CO — Analyse eudiométrique.

En vertu des réactions,

$$\left\{\begin{array}{l} C^2H^4 + 6O = 2CO^2 + 2H^2O, \\ U_1 + 3U_1 \quad 2U_1 \\ CH^4 + 4O = CO^2 + 2H^2O, \\ U_2 + 2U_2 \quad U_2 \\ H^2 + O = H^2O, \\ U_3 + \frac{1}{2}U_3 \end{array}\right.$$

(1) On prépare le chlorure cuivreux acide en dissolvant à chaud, dans l'acide chlorhydrique, du cuivre métallique ou de l'oxyde de cuivre; on obtient ainsi une dissolution d'un beau noir; on la verse dans des flacons remplis de tournure de cuivre et bien fermés. Au contact du cuivre métallique, le chlorure est entièrement réduit à l'état de chlorure cuivreux et la solution finit par se décolorer complètement. En même temps, si la proportion de cuivre dissoute est assez grande, il se dépose, dans le fond du flacon et sur la tournure de cuivre qu'il renferme, des cristaux brillants de chlorure cuivreux. On renouvelle alors aisément la provision de réactif, en ajoutant de temps à autre de l'acide chlorhydrique pour dissoudre les cristaux formés.

Ce réactif absorbe aussi l'oxygène. Le dosage de CO ne peut donc se faire qu'après absorption de l'oxygène.

Digitized by Google

on a les équations

$$\Sigma = 2U_1 + 2U_2 + \frac{3}{2}U_3,$$
$$W = 2U_1 + U_2,$$
$$V = U_1 + U_2 + U_3,$$

U_1 désignant le volume de C^2H^4 existant dans le mélange combustible et les autres notations étant celles que nous avons employées plus haut.

13. Autre forme des vases à absorption des gaz CO, O, CO^2, C^2H^4. — Afin de rendre plus intime le contact entre les gaz à absorber et les liquides absorbants, on donne, dans des appareils récents d'analyse industrielle des gaz, une forme spéciale aux récipients qui contiennent ces liquides.

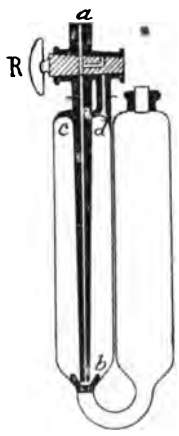


Fig. 33. — Vase à réaction de E. Hankus.

La figure 33 représente un vase à réaction construit par *E. Hankus* (1). Le gaz arrive par le tube *acb* terminé en pointe à son extrémité inférieure *b*. En sortant de *b*, le gaz rencontre les parois d'un petit entonnoir qui divise en deux le courant gazeux et produit ainsi un contact plus intime avec le réactif absorbant. D'ailleurs, en tournant le robinet R de 180°, on peut produire une nouvelle circulation du gaz à l'intérieur du vase à réaction.

Dans le vase à réaction de la figure 34, construit par *C. Heinz* (2), d'Aix-la-Chapelle, le gaz, après avoir traversé le tube *cd* terminé en pointe, remonte à l'intérieur d'un petit serpentin et reste ainsi plus longtemps en contact avec le réactif absorbant. Ce serpentin est d'ailleurs ouvert à sa partie inférieure, au moyen d'un prolongement que l'on voit nettement sur la figure 34. Le réactif peut ainsi se renouveler à l'intérieur du serpentin. En tournant le robinet R dans la position *e* indiquée sur la figure 34, on peut réaliser plusieurs fois la circulation du même volume de gaz à l'intérieur du vase à réaction.

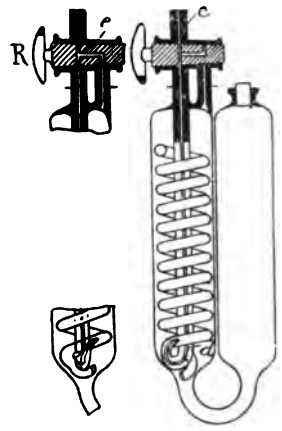


Fig. 34. — Vase à réaction de C. Heinz.

14. Nouvel appareil du type Orsat. — Appareil C. Heinz. — En employant des vases à réaction du type que nous venons de décrire, Heinz construit un appareil représenté sur la figure 35. *a*, *b*, *c*, *d* sont des vases à réaction: *a*, pour le CO; *b*, pour l'O; *c*, pour les carbures lourds, C^2H^4, C^6H^6; *d*, pour le CO^2. L'éprouvette graduée *m* sert à mesurer les volumes gazeux; elle est en communication par la partie inférieure avec un vase que l'on peut élever ou abaisser de manière à faire varier à son intérieur le niveau du liquide obturateur. Le tube capillaire *i* contient un fil de palladium, que l'on porte à 400° ou 500° en chauffant le tube *i* au moyen d'une petite lampe à alcool; c'est dans cette partie que l'on fait brûler l'hydrogène.

Le tube *i* est en verre, en métal ou mieux en quartz. Dans ces conditions, on n'obtient pas la combustion du méthane. Aussi réalise-t-on celle-ci dans un vase eudiométrique *e*, où se trouve une spirale de platine que l'on porte au rouge vif au moyen d'un courant électrique.

(1) *Œsterreiche chemische Zeitung*, t. XLVII, p. 81, 1899.
(2) C. Hahn, *Neue Orsat-Apparate für die technische Gasanalyse* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. L, n° 6, 10 février 1906).

Digitized by Google

La marche d'une expérience est la suivante. Après avoir bien balayé l'air de l'appareil au moyen d'un courant de gaz, on introduit par les robinets *f* et *h*, dans l'éprouvette *m*, environ 102 à 103 centimètres cubes de gaz; on ferme alors le robinet *f*. En soulevant le vase qui communique avec la partie inférieure de l'éprouvette *m*, on ramène le volume gazeux dans l'éprouvette à 100 centimètres cubes environ; en ouvrant pendant un temps très court le robinet *f*, on fait se dégager l'excès de gaz et on fait en sorte d'avoir ainsi 100 centimètres cubes de gaz à la pression atmosphérique.

On réalise alors les absorptions des gaz dans l'ordre suivant :

CO^2 en *d*; C^2H^4 en *c*; O en *b*; CO en *a*.

En mesurant chaque fois la diminution de volume produite dans le mélange gazeux par l'absorption, on a la proportion pour 100 du gaz correspondant dans le mélange.

Le volume gazeux qui reste après l'absorption de CO^2, C^2H^4, O et CO n'est pas tout entier soumis à la combustion pour la détermination des proportions d'H et de CH^4. On en prend une partie dans la pipette *m*, et on fait passer le reste dans le vase à réaction contenant le pyrogallate alcalin; ce vase sert ainsi de réservoir pour le mélange gazeux sur lequel on veut opérer.

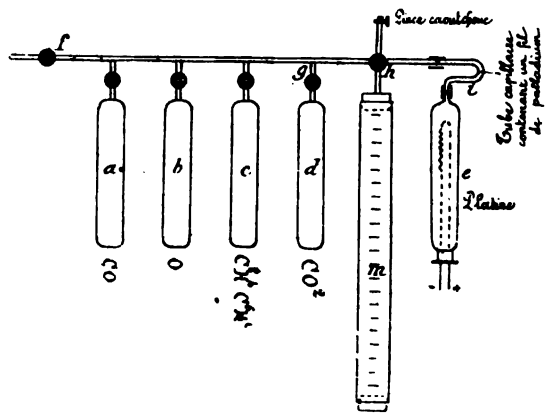


Fig. 35. — Appareil Orsat-Heinz pour l'analyse industrielle des gaz.

Dans la pipette *m* où se trouve la partie du mélange gazeux que l'on veut faire brûler, on introduit au moyen du robinet à trois voies *h* (dont le prolongement porte un petit tube en caoutchouc fermé par une pince) une quantité convenable d'air ou souvent mieux d'oxygène, de telle façon que le mélange total d'air et de gaz combustible ait un volume de 100 centimètres cubes sous la pression atmosphérique.

On fait alors passer le mélange ainsi formé au travers du tube *i* contenant le fil de palladium porté à 400° ou 500°. On réalise pratiquement cette combustion de la manière suivante. Si on emploie un petit tube de verre à parois épaisses ayant de 6 à 7 millimètres de diamètre, on le chauffe au moyen de la lampe à alcool environ une minute avant de faire passer le mélange gazeux. On éloigne alors la lampe et on fait passer lentement le mélange gazeux sur le fil de palladium. Avant de ramener le mélange dans l'éprouvette *m*, on chauffe de nouveau le tube pendant quelques secondes. Après avoir fait circuler deux fois le mélange gazeux (aller et retour), on est certain que la combustion totale est réalisée. Quand on emploie un tube métallique de 1 millimètre de diamètre, il convient, pour éviter le refroidissement, de maintenir constamment la flamme de la lampe sous le tube à combustion. D'ailleurs, dans les deux cas, la hauteur de la flamme doit être d'environ 30 millimètres. Enfin il vaut mieux souvent employer un tube de quartz qui ne se brise pas comme le tube de verre, si de l'eau vient à être entraînée avec le gaz.

La combustion de l'hydrogène une fois opérée, on mesure la diminution de volume qui s'est effectuée sur les 100 volumes du mélange d'hydrogène, de méthane et d'air que l'on a préparé pour la combustion. Désignons par *c* cette diminution de volume. Le volume de gaz disparu contenant les 2/3 de son volume d'hydrogène, l'hydrogène exis-

Digitized by Google

tant avant la combustion avait un volume égal à $\frac{2}{3}c$. Soit a le volume du mélange gazeux à étudier après l'absorption de l'oxyde de carbone (c'est-à-dire après toutes les opérations d'absorption), b le volume de ce mélange sur lequel on a opéré la combustion, la proportion pour 100 de l'hydrogène dans le mélange gazeux à étudier est

$$\frac{2ca}{3b}.$$

Enfin, pour réaliser la combustion du méthane, qui n'a pas lieu dans les conditions précédentes, il faut faire passer le mélange gazeux restant après la combustion de l'hydrogène dans le vase à réaction e, où se trouve la spirale de platine que l'on porte au rouge vif, au moyen d'un accumulateur donnant un courant de 5 à 6 ampères. La combustion une fois opérée, on mesure la diminution de volume; la moitié de cette diminution de volume représente le volume de méthane qui a brûlé. Une expérience de contrôle consiste à absorber le CO^2 formé; la diminution de volume résultant de cette absorption est égale au volume de méthane existant primitivement dans le mélange. Désignons par d la diminution totale de volume après l'absorption du CO^2 formé; le volume de méthane est égal au 1/3 de cette diminution de volume, et la proportion pour 100 du méthane dans le mélange gazeux à analyser est

$$\frac{da}{3b}.$$

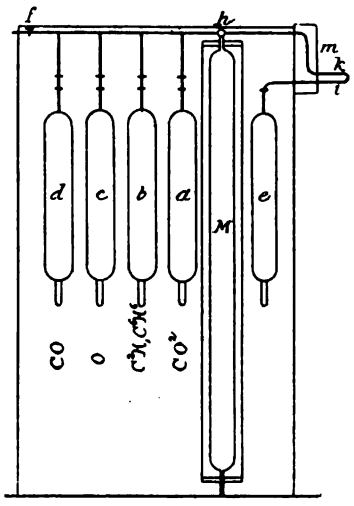


Fig. 36. — Appareil d'Orsat-Hahn pour l'analyse industrielle des gaz.

On a ainsi toutes les données nécessaires pour la détermination de la composition centésimale du gaz à étudier. Avec un peu d'habitude on peut arriver, au moyen de cet appareil, à faire une analyse complète de gaz d'éclairage en trente minutes.

15. Modification de l'appareil d'Orsat. — Appareil C. Hahn. — On peut, d'une manière plus simple, brûler en même temps l'hydrogène et le méthane, sans employer un courant électrique. On y arrive au moyen de l'appareil suivant dû à M. *C. Hahn* (*fig.* 36). Il diffère de l'appareil précédent en ce que le vase à réaction e contenant une spirale de platine et le tube capillaire renfermant un fil de palladium sont remplacés par un simple tube de platine i recourbé comme le montre la figure 36, et contenant des fils de platine et de palladium. La partie ki de ce tube est portée au rouge vif. On fait circuler lentement le mélange gazeux à brûler dans ce tube de platine, en amenant les gaz dans le vase e. On brûle ainsi à la fois l'H et le CH^4. Le diamètre total du tube de platine est d'environ 1 millimètre et sa longueur est de 10 centimètres; la partie recourbée portée à haute température a une longueur d'environ 3 centimètres. Pour éviter de brûler les raccords du tube de platine avec l'appareil et pour refroidir les gaz, on fait passer une partie de ce tube dans une caisse m contenant de l'eau (200 centimètres cubes); pendant les trois ou quatre minutes que dure la circulation des gaz dans le tube de platine, l'eau s'échauffe à peine de 1°; on peut d'ailleurs garantir contre le rayonnement la partie antérieure du vase m en la protégeant par une plaque d'amiante.

Digitized by Google

La détermination des proportions centésimales d'hydrogène et de méthane existant dans le mélange à étudier se fait de la manière suivante. La réaction

$$2H + O + CH^4 + 4O = H^2O + CO^2 + 2H^2O$$

montre que le volume de CO^2 formé pendant la combustion est égal au volume de méthane existant dans le mélange primitif. Si donc on appelle e le volume de CO^2 produit par la combustion, la proportion centésimale du méthane est

$$\frac{ae}{b},$$

a et b ayant les significations indiquées plus haut.

Soit f la diminution totale du volume du mélange soumis à la combustion après que l'anhydride carbonique a été absorbé. Comme le montre la formule précédente, la diminution de volume due à la formation de l'eau par suite de la présence de l'hydrogène dans le mélange gazeux primitif est égale à

$$f - 3e,$$

$3e$ étant le volume du mélange gazeux $CH^4 + O^4$.

Les 2/3 de cette diminution de volume sont de l'hydrogène. La proportion centésimale de l'hydrogène dans le mélange étudié est donc

$$\frac{2a(f - 3e)}{3b}.$$

Exemple numérique. — *Analyse d'un gaz d'éclairage* (on opère sur 100 centimètres cubes de gaz).

Diminution totale du volume du mélange après absorption de CO^2.		1,5
— — — C^2H^4, C^6H^6.		5,3
— — — O		5,9
— — — CO.....		13,3
Proportion centésimale de CO^2.....		1,5
— C^2H^4, C^6H^6.....	5,3 — 1,5 =	3,8
— O.....	5,9 — 5,3 =	0,6
— CO.....	13,3 — 5,9 =	7,4
Volume de gaz restant après absorption de CO^2, C^2H^4, O, CO...		86^{cm3},7
— pris pour la combustion.....		12 ,2
Dans l'éprouvette M (*fig.* 36) le niveau supérieur du liquide affleure à la division.....	100 — 12,2 =	87 ,8
Introduction d'air jusqu'à ce que le niveau du liquide dans l'éprouvette M descende à la division 0,8.....		87 ,0
Affleurement du liquide dans le vase M après la combustion de $H + CH^4$.....		20 ,4
Diminution de volume après la combustion de $H + CH^4$:	20,4 — 0,8 =	19 ,6
Affleurement du liquide dans le vase M après l'absorption de CO^2..		24 ,4
Diminution de volume après l'absorption de CO^2.	24,4 — 20,4 =	4 ,0
Diminution totale de volume.....	19,6 + 4 =	23 ,6

Digitized by Google

Proportion centésimale du méthane dans le mélange primitif :

$$\frac{86,7 \times 4}{12,2} = 28,4\ 0/0$$

— de l'hydrogène dans le mélange primitif :

$$\frac{2 \times 86,7\,(23,6 - 3 \times 4)}{3 \times 12,2} = 55,0\ 0/0$$

Composition centésimale du gaz étudié		H	55,0 0/0
—	—	CH^4	28,4
—	—	C^2H^4, C^6H^6	3,8
—	—	CO	7,4
—	—	CO^2	1,5
—	—	O	0,6
—	—	Az (par différence)	3,3
			100,0 0/0

16. Calcul, à partir de la composition chimique d'un gaz de gazogène, du volume de gaz produit. — Quand on connaît la composition d'un gaz de gazogène, on peut calculer :

1° *Le volume de ce gaz fourni par 1 kilogramme de combustible ;*

2° *Le pouvoir calorifique de ce gaz.*

Supposons que le gazogène fournisse un gaz dont l'analyse chimique montre qu'il contient

a volumes pour 100 de CO^2,
b — CO,
c — CH^4.

Admettons que la vapeur de carbone soit un gaz dont la densité soit 12 fois plus grande que celle de l'hydrogène, c'est-à-dire que 1 mètre cube de vapeur de carbone à 0° C. et sous la pression normale pèse

$$(0,0692 \times 1,293 \times 12) \text{ kilogrammes.}$$

D'après cette hypothèse, 1 mètre cube de gaz carbonique contient 1 mètre cube d'oxygène et 1/2 mètre cube de vapeur de carbone, c'est-à-dire

$$\frac{1}{2} \times 0,0692 \times 1,293 \times 12 = 0^{kg},538 \text{ de carbone.}$$

On trouve une quantité égale de carbone dans 1 mètre cube d'oxyde de carbone et dans 1 mètre cube de méthane.

La composition précédente du gaz fourni par le générateur montre que, dans 100 mètres cubes de ce gaz, il y a

$$(a + b + c) \times 0^{kg},538 \text{ de carbone.}$$

Un kilogramme de carbone donne donc un volume de gaz pauvre (de la composition ci-dessus) qui, mesuré à 0° C. et sous la pression normale, est égal à

$$V' = \frac{100}{0,538\,(a + b + c)} = \frac{185,8}{a + b + c} \text{ mètres cubes de gaz pauvre.}$$

Digitized by Google

Or le combustible employé dans le gazogène n'est jamais formé de carbone pur. Dans 1 kilogramme du premier, il y a au contraire φ kilogrammes de carbone :

$$0 < \varphi < 1,$$

φ étant déterminé par l'analyse du combustible.

Un kilogramme de combustible donne donc un volume de gaz pauvre qui, mesuré à 0° et sous la pression normale, est égal à

$$V = \frac{185,8\varphi}{a + b + c} \text{ mètres cubes,}$$

quels que soient les autres éléments contenus dans le gaz, en dehors des combinaisons ci-dessus du carbone.

Nous avons supposé que le gaz pauvre produit par le gazogène ne contenait que du méthane comme carbure volatil. Souvent ce gaz pauvre contient de l'éthylène C^2H^4 dans la proportion de d volumes pour 100; 1 mètre cube de cet éthylène contenant 1 mètre cube de vapeur de carbone ou $2 \times 0^{kg},538$ de carbone, le *volume de gaz pauvre produit par 1 kilogramme de combustible* est, dans ce cas, égal à

$$V_1 = \frac{185,8\varphi}{a + b + c + 2d} \text{ mètres cubes.}$$

17. **Rendement d'un gazogène.** — Désignons par :

P_s, le *pouvoir calorifique supérieur* en calories-kilogrammes du gaz pauvre produit;

P_i, le *pouvoir calorifique inférieur* en calories-kilogrammes du gaz pauvre produit;

$\mathcal{P}_s$, la puissance calorifique absolue supérieure du combustible en calories-kilogrammes;

C_g, le nombre de kilogrammes de charbon consommés dans le générateur pendant un temps déterminé;

C_c, le nombre de kilogrammes de charbon consommés pendant le même temps pour fournir avec la chaudière la vapeur d'eau nécessaire au générateur;

V, le volume en mètres cubes du gaz pauvre produit par 1 kilogramme de combustible.

Nous appellerons *rendement calorifique supérieur d'un gazogène* le rapport

$$\eta_s = \frac{V \times C_g \times P_s}{\mathcal{P}_s (C_g + C_c)} = \frac{V \times P_s}{\mathcal{P}_s \left(1 + \frac{C_c}{C_g}\right)},$$

et *rendement calorifique inférieur d'un gazogène* le rapport

$$\eta_i = \frac{V \times C_g \times P_i}{\mathcal{P}_s (C_g + C_c)} = \frac{V \times P_i}{\mathcal{P}_s \left(1 + \frac{C_c}{C_g}\right)}.$$

Si le gazogène n'a pas de chaudière indépendante, le rapport $\frac{C_c}{C_g} = 0$, et l'on a

$$\eta_s = \frac{V \times P_s}{\mathcal{P}_s}, \qquad \eta_i = \frac{V \times P_i}{\mathcal{P}_s}.$$

Digitized by Google

Dans le calcul approximatif des générateurs avec chaudières, on prend généralement $\frac{C_c}{C_g} = 0,1$, et l'on a

$$\eta_s = \frac{V \times P_s}{1,1 \mathcal{P}_s}, \qquad \eta_i = \frac{V \times P_i}{1,1 \mathcal{P}_s}.$$

Nous avons supposé dans ce qui précède que tout le combustible est transformé en gaz ou que, s'il y a du combustible dans les cendres, celles-ci sont triées de manière à utiliser de nouveau le combustible. Dans le cas où il y a un nombre de kilogrammes de charbon égal à C_r qui se perd dans les cendres sans être utilisé, les formules précédentes deviennent les suivantes.

Rendement calorifique supérieur ..... $\eta_s = \frac{V(C_g - C_r) P_s}{\mathcal{P}_s (C_g + C_c)} = \frac{V\left[1 - \frac{C_r}{C_g}\right] P_s}{\mathcal{P}_s \left[1 + \frac{C_c}{C_g}\right]}$

Rendement calorifique inférieur..... $\eta_i = \frac{V(C_g - C_r) P_i}{\mathcal{P}_s (C_g + C_c)} = \frac{V\left[1 - \frac{C_r}{C_g}\right] P_i}{\mathcal{P}_s \left[1 + \frac{C_c}{C_g}\right]}$

18. Calcul à partir de la composition chimique du pouvoir calorifique d'un gaz de gazogène. — Les pouvoirs calorifiques supérieur P_s et inférieur P_i peuvent être déterminés par les méthodes calorimétriques dont nous avons indiqué plus haut les principes.

Ils peuvent être aussi calculés en partant de la composition du mélange gazeux produit. Mais cette méthode est moins exacte que la méthode calorimétrique, à cause des erreurs facilement commises dans l'analyse du mélange gazeux.

En partant des déterminations calorimétriques de Berthelot, représentées par les formules suivantes :

$CO + O = CO^2 + 97.650$ calories-kilogrammes;
$H^2 + O = H^2O$ vapeur $+ 58.100$ calories-kilogrammes;
$H^2 + O = H^2O$ liquide $+ 69.000$ —
$CH^4 + O^4 = CO^2 + 2H^2O$ liquide $+ 213.500$ calories-kilogrammes;
$CH^4 + O^4 = CO^2 + 2H^2O$ vapeur $+ 191.700$ —
$C^2H^4 + O^6 = 2CO^2 + 2H^2O$ liquide $+ 347.900$ —
$C^2H^4 + O^6 = 2CO^2 + 2H^2O$ vapeur $+ 326.100$ —

on trouve par un calcul simple les valeurs des pouvoirs calorifiques supérieur et inférieur.

Soit h la proportion pour 100 d'hydrogène dans le mélange gazeux fourni par le gazogène. On a

$$P_s = 30,69b + 97,50c + 156,555d + 31,05h;$$
$$P_i = 30,69b + 96,08c + 146,75d + 26,145h.$$

Faisons une application numérique de ces formules à l'essai suivant fait par M. Witz sur un gazogène Dowson.

Le charbon employé était de l'anthracite du pays de Galles pour lequel on avait $\varphi = 0,9$.

Digitized by Google

La composition moyenne du gaz obtenu était la suivante :

CO^2	$a =$	4,8 0/0
O		1,2
CO	$b =$	25,4
H		16,5
CH^4	$c =$	1,0
Az		51,1
		100,0 0/0

D'après une des formules précédentes, le volume de gaz produit par kilogramme de combustible est

$$V = \frac{185,8 \times 0,90}{4,8 + 25,4 + 1} = 5^{cm3},35.$$

M. Witz a trouvé qu'en réalité ce volume de gaz produit était de 4 mètres cubes.

Le pouvoir calorifique supérieur du gaz produit est, à partir de sa composition chimique,

$$P_s = (30,69 \times 25,4) + 97,30 + (31,05 \times 16,5) = 1389,351 \text{ calories.}$$

En se servant de son calorimètre, M. Witz a trouvé 1.287 calories.

Ces différences entre les déterminations directes et les valeurs des mêmes quantités calculées à partir de la composition chimique du gaz produit, montrent que l'on ne doit considérer les valeurs calculées que comme des indications destinées à donner une idée de l'ordre de grandeur des quantités étudiées.

Le rendement calorifique supérieur du gazogène étudié par M. Witz est alors, en prenant 7.800 calories pour puissance calorifique de l'anthracite employé :

Résultat des expériences :

$$\eta_s = \frac{4 \times 1287}{1,1 \times 7800} = 0,60.$$

Calcul à partir de la composition chimique du gaz produit :

$$\eta_s = \frac{5,35 \times 1389,35}{1,1 \times 7800} = 0,87.$$

Ces différences nous montrent encore combien on doit être prudent dans les calculs de rendements de gazogènes faits à partir de formules établies en partant de la composition chimique du gaz produit.

19. Composition des gaz pauvres. — Nous terminons cette étude en donnant, d'après MM. Witz et Lencauchez, la composition d'un certain nombre de gaz pauvres.

Comme le montrent ces tableaux, on voit que les gaz pauvres ont un pouvoir calorifique supérieur compris entre 1.150 et 1.300 calories. Il est bien rare que ce pouvoir dépasse 1.500 ou qu'il tombe en dessous de 950 calories.

Digitized by Google

TABLEAU XVII

POUVOIR CALORIFIQUE ET COMPOSITION DE QUELQUES GAZ DE GAZOGÈNES

(D'après A. Witz, *les Meilleurs Gaz pauvres*, Congrès de mécanique tenu à Liège en 1905)

ORIGINE DU GAZ ET ALLURE DU FEU	POUVOIR CALORIFIQUE au mètre cube (1)	H	CO	CH^4	C^2H^4	CO^2	O	Az	D'APRÈS MM.
		p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	
Coke d'usine à gaz	1.212	10,83	21,76	1,10	1,38	3,57	0,00	61,36	Lencauchez.
Anthracite	1.519	20,00	21,00	3,50	0,50	5,00	0,50	49,50	id.
Houille d'Ecosse à 41 0/0 de matières volatiles	1.542	11,00	26,65	4,86	0,27	3,42	0,00	53,80	id.
Charbon très riche en matières volatiles	1.303	16,85	22,75	2,05	0,00	4,55	0,00	58,30	id.
Allure froide	1.414	29,00	11,00	2,00	0,00	16,00	0,00	42,00	Humphrey.
—	1.433	27,80	12,20	2,20	0,00	16,00	0,00	41,80	id.
Anthracite Llanelly	1.287	16,50	25,40	1,00	0,00	4,80	1,20	51,10	Witz.
Allure froide au charbon d'Anzin	1.208	20,70	19,70	1,00	0,00	3,10	0,60	51,90	id.
Charbon d'Anzin, allure plus chaude	1.283	22,00	20,20	1,10	0,00	1,90	0,60	54,20	id.
Coke	1.254	6,40	27,80	2,60	0,00	4,20	0,00	59,00	Meyer.
Anthracite anglais	1.463	19,80	23,80	1,30	0,00	6,30	0,00	48,80	Dowson.
—	1.552	17,50	26,50	2,10	0,00	4,40	0,00	49,50	id.
Charbon maigre belge	1.213	13,30	19,35	2,20	0,00	6,95	0,00	58,20	Riché.
Mine Morsbach	1.286	18,40	24,30	0,57	0,00	6,60	0,00	49,33	Mathot.
Charbon Batterie	1.287	18,60	24,50	0,64	0,00	6,50	0,00	48,96	id.
Coke, grand débit de gaz	1.185	15,00	23,00	0,00	0,00	11,00	0,00	51,00	Lecomte.
Coke, petit débit de gaz	1.218	14,50	24,50	0,00	0,00	9,00	0,00	52,00	id.
Mélange 1/3 gras de Courrières et 2/3 de poussier de coke	975	10,30	20,00	0,50	0,00	5,50	0,00	62,70	Hovine.
Mélange 1/3 gras de Courrières et 2/3 de fraisil de locomotive	950	12,50	19,00	0,00	0,00	5,50	0,00	62,00	id.
Bois mouillé	1.025	15,00	14,00	1,50	0,00	5,50	0,00	62,00	id.
Tourbe	1.050	13,00	18,00	1,00	0,00	9,00	1,50	57,50	id.
Mélange 1/3 gras de Bruay et 2/3 maigre d'Ostricourt	1.175	15,50	19,50	1,25	0,00	4,50	2,50	56,75	id.
Bruay gras à 32 0/0 de matières volatiles	1.175	16,00	18,00	1,50	0,00	6,50	1,00	57,00	id.
Houille grasse	1.270	18,73	25,07	0,62	0,00	6,57	0,00	49,01	Faugé-Chavanon.
Bois	1.224	15,00	19,70	2,80	0,00	12,50	0,00	50,00	id.

(1) Mesuré à 0° et sous la pression de 76 centimètres de mercure. M. Witz n'indique pas s'il s'agit du pouvoir calorifique supérieur ou du pouvoir calorifique inférieur; nous supposons qu'il s'agit du pouvoir calorifique supérieur tel qu'il est déterminé par sa méthode calorimétrique.

Digitized by Google

TABLEAU XVIII

POUVOIR CALORIFIQUE ET COMPOSITION DES PRINCIPAUX GAZ DE GAZOGÈNES EMPLOYÉS DANS L'INDUSTRIE

[D'après Lencauchez, *les Gaz combustibles et les moteurs à gaz* (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 4e série, t. IV, 1re livraison 1905]

	GAZ DE COKE	GAZ D'ANTHRACITE anglais	GAZ de HOUILLE MAIGRE d'Anzin	GAZ DE LIGNITE moyen	GAZ DE TOURBE de PICARDIE	GAZ DE BOIS ORDINAIRE	GAZ DE HOUILLE Flénu de la Sarre	GAZ DE HOUILLE d'Écosse
CO	27,06	21,32	26,50	32,80	34,02	32,40	17,63	29,50
H	12,83 } 40,87	20,34 } 45,71	10,75 } 41,55	4,40 } 40,40	5,76 } 41,37	10,76 } 45,69	15,82 } 38,76	14,50 } 48,45
CH^4	0,88	3,50	3,75	2,60	1,03	2,00	3,87	
C^2H^4	0,10	0,55	0,55	0,60	0,56	0,53	1,44	4,45
Az	55,56 } 59,13	49,84 } 54,29	57,25 } 58,50	57,50 } 59,60	56,61 } 58,63	46,30 } 53,60	55,66 } 61,24	48,55 } 51,55
CO^2	3,57	4,45	1,25	2,10	2,02	7,30	5,58	3,00
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,29	100,00	100,00
Pouvoir calorifique du mètre cube à 0° et sous 76 centimètres de mercure de pression, les fumées non condensées	Gazogène cylindrique 1.140 calories	Gazogène cylindrique 1.520 calories	Gazogène carré 1.466 calories	Gazogène carré à plan incliné 1.427 calories	Gazogène carré à plan incliné 1.348 calories	Gazogène carré 1.480 calories	Gazogène carré 1.450 calories	Gazogène cylindrique 1.650 calories
Dates des analyses	1885	1888	1886	1872	1874	1876	1887	1897
Teneur en cendre du combustible	10 0/0	3 0/0	8 0/0	12 0/0	11 0/0	1,6 0/0	14 0/0	10 0/0
Teneur du combustible en matières volatiles sans eau	2 0/0	10 0/0	12 0/0	35 0/0	36 0/0	40 0/0	28 0/0	30 0/0
Teneur du combustible en eau	10 0/0	1 à 2 0/0	2 0/0	15 0/0	34 0/0	33 0/0	9 0/0	10 0/0

NOTA. — D'après M. Lencauchez (*Études sur divers gaz combustibles*, 2e partie, p. 47; Paris, Bernard Tignol, 1902), on a, en théorie, une production de 4 mètres cubes de gaz mixte de gazogène par kilogramme de carbone fixe contenu dans le combustible. En pratique, le volume produit par kilogramme de charbon est $4 \times 0,87$ (coke métallurgique de choix); $4 \times 0,80$ (coke d'usine à gaz); $4 \times 0,5 + V$ (combustibles ne contenant que 50 0/0 de carbone fixe), V variant entre $0^{m3},250$ et $0^{m3},300$ par kilogramme de houille dite flénue et variété de splint coal écossais.

Digitized by Google

CHAPITRE V

GAZOGÈNES ALIMENTÉS AU COKE ET A L'ANTHRACITE GAZOGÈNES SOUFFLÉS. – GAZOGÈNES A ASPIRATION [1]

I

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT D'UN GAZOGÈNE A COMBUSTION DIRECTE ALIMENTÉ AU COKE ET A L'ANTHRACITE

1. Types de gazogènes. — On donne le nom de *gazogènes* à tous les appareils dans lesquels sont produits le gaz à l'air, le gaz à l'eau, le gaz mixte, que nous avons étudiés dans les chapitres précédents. Les gazogènes à gaz mixte retiendront maintenant uniquement notre attention.

Le gaz mixte ou *gaz pauvre* y est produit par le passage d'un mélange convenable d'air et de vapeur d'eau sur des combustibles, tels que le coke, l'anthracite, les charbons maigres, le lignite, la tourbe, etc... Mais, en même temps que le gaz pauvre, peuvent prendre naissance des produits volatils (goudrons, sels ammoniacaux), qui sont susceptibles d'arrêter le fonctionnement des moteurs et qui doivent être éliminés par une épuration faite avec le plus grand soin.

Quel qu'en soit le type, un gazogène est composé essentiellement d'une *cuve réfractaire avec grille spéciale*, d'un *vaporisateur avec réglage du débit de vapeur*, d'un *épurateur destiné à retenir les sous-produits*, *goudrons*, *ammoniaque*, etc...

Les gazogènes appartiennent à deux classes distinctes, suivant que *la pression intérieure est supérieure ou inférieure à la pression atmosphérique.*

Dans le premier cas, ce sont des *gazogènes soufflés*. L'air et la vapeur d'eau sont injectés dans le gazogène sous une pression capable d'activer la combustion et la circulation du

[1] Nous ne décrirons pas ici tous les types de gazogènes usités. Nous prions le lecteur désireux de connaître tous ces types de se reporter aux ouvrages et mémoires suivants auxquels nous avons fait des emprunts.

J. Deschamps, *les Gazogènes* (Paris, Dunod, 1902);

R.-E. Mathot, *Manuel pratique des moteurs à gaz et des gazogènes* (Paris, Béranger, 1904);

A. Witz, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. I;

R. Schöttler, *Neuere Kraftgaserzeuger* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, Bd. XLIX, n° 45, 11 novembre 1905);

Eloy, *Gazogènes à gaz pauvres* (*Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore*, 1904);

Lencauchez, *Etudes sur les divers gaz combustibles* (Paris, Bernard Tignol, 1902);

Wyer, *Producer-Gas and Gas-Producers* (London, *The Engineering and Mining Journal*, 1906);

Emerson Dowson and Larter, *Producer-Gas* (London, Longmans, Green and C°, 1906);

Revue de Mécanique (Description de divers types de gazogènes dans les Chroniques de 1903, 1904, 1905, 1906).

Digitized by Google

gaz à travers les appareils épurateurs. Pour créer cette pression, on se sert soit d'un ventilateur actionné mécaniquement, soit d'un injecteur de vapeur alimenté par une petite chaudière indépendante. La figure 37 représente un tel gazogène.

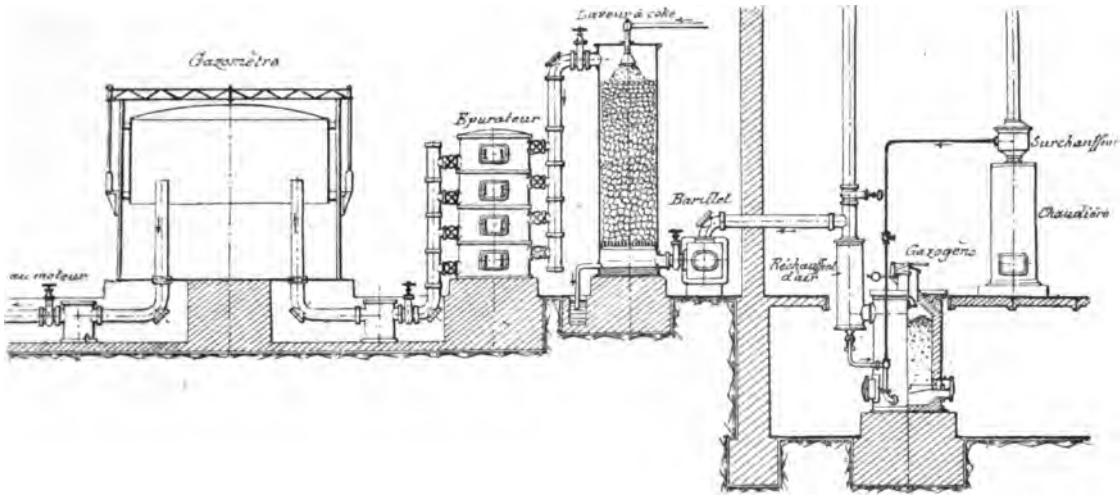


FIG. 37. — Gazogène soufflé.

Dans le second cas, les gazogènes sont dits *à aspiration*. Le mélange d'air et de vapeur est aspiré au travers du gazogène et de l'épurateur, généralement par le moteur lui-même. On remarquera que, dans ces appareils, il est possible de décrasser le foyer pendant la marche sans avoir à craindre les fuites de gaz dangereuses pour les chauffeurs. Mais la production du gaz ne peut être constante que si, d'une part, le combustible est de composition régulière et n'encrasse pas le foyer, et si, d'autre part, l'aspiration du moteur ne varie pas sensiblement. Un ventilateur sert pour l'allumage. On voit sur la figure 38 un gazogène de ce type.

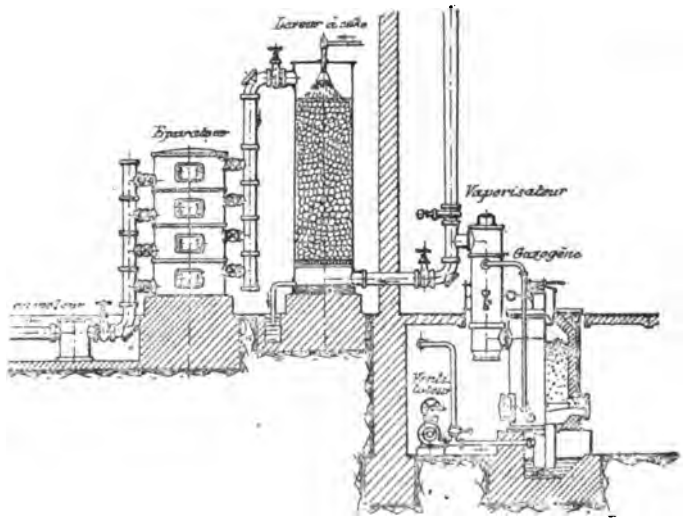


FIG. 38. — Gazogène à aspiration.
(Le ventilateur sert pour l'allumage.)

2. Première condition de fonctionnement imposée par la nature même des réactions produites. — Le problème qui se pose maintenant à notre attention est le suivant.

Un gazogène à *combustion directe*, c'est-à-dire dans lequel l'air et la vapeur d'eau arrivent par la partie inférieure de la cuve du générateur, est chargé avec du coke ou de l'anthracite. Quelles sont les conditions d'un bon fonctionnement de cet appareil?

Comme nous l'avons dit au début du chapitre IV, le mélange d'air et de vapeur d'eau, en passant sur le carbone au rouge, donne, comme produits principaux, de l'anhydride carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène. Les réactions (I) et (II) [Voir au début

Digitized by Google

du chapitre IV] sont *exothermiques;* les réactions (III) et (IV) sont endothermiques [1].

De là résulte immédiatement cette première condition du fonctionnement d'un gazogène :

La quantité de chaleur dégagée par les réactions (I) et (II) doit être supérieure à la quantité de chaleur absorbée par les réactions (III) et (IV), celle-ci étant augmentée de la quantité de chaleur cédée par conductibilité et par rayonnement aux corps extérieurs au gazogène.

Cette proposition a un corollaire immédiat.

3. Limitation de la proportion de vapeur d'eau insufflée. — *La quantité de vapeur d'eau insufflée en même temps que l'air dans la cuve d'un gazogène est nécessairement limitée.*

4. Comment on peut accroître la proportion de vapeur d'eau insufflée. — Toutefois on a, comme nous le verrons plus loin, avantage, *au point de vue de l'alimentation des moteurs*, à accroître la proportion d'hydrogène existant dans le gaz combustible produit et, par suite, la quantité de vapeur d'eau mélangée à l'air fourni au gazogène. On obtient ce résultat de diverses manières :

1° *En réduisant les chaleurs dégagées par conductibilité et par rayonnement;* l'isolement thermique du gazogène a une importance qu'on ne soupçonne pas à première vue et qui a été souvent méconnue ;

2° *En utilisant la chaleur dégagée par les gaz chauds sortant du gazogène pour réchauffer l'air qu'on lui fournit;* cette quantité de chaleur vient s'ajouter à la quantité de chaleur dégagée par l'ensemble des réactions (I) et (II) et permet d'accroître la quantité de chaleur absorbée par la réaction (IV) ;

3° *En surchauffant la vapeur d'eau.*

Cette surchauffe présente l'avantage de n'envoyer dans le gazogène que de l'eau à l'état de vapeur et non un mélange d'eau liquide et d'eau en vapeur. La décomposition de l'eau liquide en ses éléments exige en effet, par rapport à la décomposition de l'eau en vapeur, une *absorption supplémentaire de chaleur de* 10.800 *calories pour chaque molécule d'eau* (18 kilogrammes) *ou de* 600 *calories par kilogramme d'eau.*

5. Conditions qui favorisent l'accroissement de la teneur en oxyde de carbone et en hydrogène. — Le gaz produit par le gazogène doit être *combustible;* il doit donc contenir la proportion la plus grande possible d'oxyde de carbone et d'hydrogène et le minimum de gaz inertes comme l'anhydride carbonique. On a donc intérêt à favoriser la production des réactions (III) et (IV). Les conditions optima dans lesquelles elles se réalisent ont été étudiées dans les chapitres précédents. Nous allons les rappeler ici rapidement.

a) La *durée du contact* entre les gaz insufflés et le carbone incandescent est un facteur qui a une influence bien marquée sur la proportion des gaz combustibles (CO et H) contenus dans les gaz produits par le gazogène; cette proportion est en effet d'autant plus grande que la vitesse du courant gazeux insufflé est plus faible.

b) La *grandeur de la surface de contact entre la couche de charbon incandescent* et les

[1] Laurens et Thomas ont, les premiers, proposé l'introduction simultanée d'air et de vapeur. C'est *Ebelmen* qui, en 1841, a réalisé cette idée. D'après un grand métallurgiste allemand, Fritz Lürmann, l'étude de cette question des gazogènes a été faite d'une façon si complète par ces novateurs qu'il suffit de lire leurs travaux pour connaître presque complètement l'état actuel de la question. C'est de 1841 à 1843 qu'Ebelmen a fait et publié ses recherches.

Ebelmen, *Annales des Mines*, 1841 et 1843.

Voir aussi un résumé très bien fait des travaux d'Ebelmen dans le mémoire suivant.

Fritz Lürmann, *Etude sur les réactions chimiques s'accomplissant dans les gazogènes* [*Stahl und Eisen*, 1903, p. 434 et 515 ; — *Moniteur scientifique de Quesneville*, 4e série, t. XIX (1re partie), janvier 1905].

Digitized by Google

gaz fournis au gazogène a une influence corrélative de la durée du contact entre ces gaz et le charbon. Cette surface doit être d'autant plus grande que la pression d'insufflation des gaz est plus élevée. En particulier, l'épaisseur de la couche de charbon traversée doit être suffisante. Une épaisseur trop faible se traduit par une composition défectueuse du gaz sortant du gazogène et par un excès d'anhydride carbonique.

Cette nécessité d'un bon contact entre le charbon incandescent et les gaz insufflés entraîne cette autre condition que *ces gaz doivent traverser la masse totale du combustible.* S'ils glissent le long des parois du gazogène ou s'ils s'échappent par des cheminées formées au sein de la masse incandescente, la condition de contact de toute la masse d'air et de vapeur d'eau avec le charbon incandescent n'est pas réalisée, et le gaz obtenu est trop riche en éléments non combustibles.

c) Les réactions (III) et (IV) ne peuvent se produire que si la température à laquelle est porté le charbon est suffisamment élevée; *elles sont d'ailleurs favorisées par une élévation de température.*

Une allure plus chaude dans la marche du gazogène permet donc de produire un gaz plus riche en oxyde de carbone et en hydrogène.

6. Comment varie la composition du gaz produit lorsqu'on fait varier la teneur en vapeur d'eau du mélange d'air et de vapeur insufflé dans le gazogène. — Il est intéressant de savoir comment, à une température déterminée et pour une épaisseur donnée d'un charbon dont les morceaux ont une certaine dimension, varie la composition du gaz produit par le passage à une vitesse connue *d'un mélange en proportions variables d'air et de vapeur d'eau.* Ces données permettent en effet de savoir quelle est, pour une allure déterminée du gazogène, la composition la plus convenable du mélange gazeux que l'on doit insuffler pour produire un gaz de pouvoir calorifique maximum. Les expériences faites dans le sens que nous venons d'indiquer ne sont pas nombreuses, et les conditions dans lesquelles elles ont été effectuées manquent un peu de précision. Cependant, d'après certaines expériences de Bunte, indiquées par M. Witz (1), lorsque par kilogramme de coke on ajoute à l'air insufflé des masses de vapeur d'eau variant depuis 0 jusqu'à $0^{kg},92$, les compositions du gaz produit varient dans les limites indiquées dans le tableau suivant.

QUANTITÉ DE VAPEUR D'EAU par kilogramme de coke	COMPOSITION DU GAZ			
	CO^2	CO	H	Az
kilogrammes	pour 100	pour 100	pour 100	pour 100
0,00	4,6	24,2	3,3	67,9
0,51	7,0	17,6	9,1	64,3
0,66	8,3	19,3	12,2	60,2
0,71	9,0	18,4	12,9	59,7
0,75	10,2	14,6	14,0	58,2
0,86	12,0	12,0	15,8	60,2
0,92	14,8	11,7	16,3	57,2

Le pouvoir calorifique supérieur des gaz engendrés par 1 kilogramme de coke peut

(1) Witz, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. I, p. 171 (Paris, Bernard, 1903).
Witz, *les Meilleurs Gaz pauvres* (Congrès de mécanique tenu à Liège, le 1er juillet 1905).

Digitized by Google

être augmenté notablement par le fait de l'injection de l'eau, comme le montrent les nombres suivants.

Vapeur d'eau par kilogramme de coke.	0	0kg,510	0kg,660	0kg,710	0kg,750	0kg,860	0kg,920
Pouvoir calorifique supérieur des gaz produits par 1 kilogramme de coke..	5,263	5,334	6,001	5,800	5,347	5,944	5,413

La variation un peu irrégulière de ces pouvoirs calorifiques montre qu'il est difficile de tirer des renseignements probants de ces expériences ; *cependant il semble qu'il y ait avantage à mélanger à l'air insufflé de* 600 *à* 900 *grammes de vapeur d'eau par kilogramme de coke employé.*

Les deux tableaux qui suivent montrent aussi, d'une manière *qualitative*, qu'il y a avantage, au point de vue du pouvoir calorifique du gaz produit, à insuffler dans la cuve du gazogène une quantité convenable de vapeur d'eau mélangée à l'air.

Comme le mettent en évidence ces résultats expérimentaux, *l'accroissement dans certaines limites de la proportion de vapeur d'eau existant dans le vent soufflé au gazogène augmente la proportion d'hydrogène et diminue la proportion d'oxyde de carbone.*

Mais une question se pose ici. Le constructeur de moteurs à gaz désire-t-il obtenir un gaz plus riche en oxyde de carbone qu'en hydrogène?

MARCHE AU COKE, D'APRÈS M. LENCAUCHEZ (1)

COMPOSITION DU GAZ	GAZOGÈNE SOUFFLÉ A SEC	GAZOGÈNE SOUFFLÉ AVEC EXCÈS DE VAPEUR D'EAU
H	2,10 0/0	26,55 0/0
CO	27,30 —	18,29 —
CO^2	3,50 —	11,35 —
Az	66,90 —	43,55 —
CH^4, C^2H^4	0,30 —	0,26 —
Pouvoir calorifique supérieur au mètre cube....	902 calories	1.270 calories

MARCHE AU COKE, D'APRÈS M. LECOMTE (2)

COMPOSITION EN VOLUMES DU GAZ PRODUIT	EAU PAR KILOGRAMME DE COKE		
	240 GR. D'EAU	350 GR. D'EAU	490 GR. D'EAU
H	5,5 0/0	11 0/0	15 0/0
CO	26,0 —	24 —	23 —
CO^2	3,5 —	6 —	11 —
Az	65,0 —	59 —	51 —
Pouvoir calorifique supérieur au mètre cube....	1.041 calories	1.091 calories	1.185 calories

7. Teneur en hydrogène du gaz destiné à l'alimentation des moteurs. — L'hydrogène possède vis-à-vis de l'oxyde de carbone les propriétés suivantes.

(1) A. Witz, *loc. cit.*
(2) A. Witz, *loc. cit.*

Digitized by Google

1° *La température d'inflammation du mélange d'hydrogène et d'oxygène est notablement plus basse que celle du mélange d'oxyde de carbone et d'oxygène.*

D'après les déterminations de MM. Mallard et Le Chatelier[1], la température d'inflammation du mélange d'oxygène et d'hydrogène est de 555°, tandis que la température d'inflammation du mélange d'oxyde de carbone et d'oxygène est de 655°.

L'addition au gaz tonnant (hydrogène + oxygène) d'un volume même considérable de gaz inertes modifie peu ou point la température d'inflammation. Mais, avec les mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène, l'addition d'une quantité notable de gaz carbonique paraît élever d'une manière sensible la température d'inflammation.

2° *Un mélange de gaz tonnant* $[H^2 + O]$ *fait explosion dans toute sa masse dans un temps beaucoup plus court que le mélange* $[CO + O]$.

C'est un fait qui résulte des nombreuses expériences de MM. Berthelot et Vieille [2]. Les praticiens expriment ce fait en disant que les gaz très riches en hydrogène donnent souvent un coup dur et font choquer le moteur.

3° *La vitesse de diffusion de l'hydrogène dans un gaz est plus grande que celle de l'oxyde de carbone, de sorte que son mélange avec l'air est plus rapide et que l'homogénéité du mélange combustible* $[H^2 + O]$ *est mieux assurée que celle du mélange combustible* $[CO + O]$.

Il résulte de ces remarques que le constructeur de moteurs à gaz demande : *ni trop d'hydrogène*, afin que la machine ne soit pas trop délicate ; *ni trop peu*, afin de corriger la paresse de l'oxyde de carbone à s'enflammer et activer ainsi l'allumage. Pratiquement, *la teneur en hydrogène doit être en volume de* 15 *à* 20 0/0 *environ.*

8. Constance dans la composition et le dégagement du gaz fourni par le gazogène. — Enfin, pour l'alimentation des moteurs, le gaz produit par le gazogène doit avoir *une composition aussi constante que possible et un dégagement aussi uniforme que possible.*

Des variations peuvent se produire au moment où l'on introduit des charges froides de combustible, lorsque ces charges sont un peu considérables ; il y a intérêt à employer des dispositifs de chargement permettant d'annihiler ou de réduire considérablement de telles variations.

D'autre part, il convient de réaliser autant que possible une proportion constante entre l'air et la vapeur d'eau.

Les considérations que nous venons de développer conduisent à énoncer les remarques suivantes relatives à la construction des gazogènes.

9. Éviter les pertes de chaleur par rayonnement et par conductibilité. — 1° *Afin d'éviter le plus possible les pertes de chaleur par rayonnement et par conductibilité*, il est bon de disposer, entre l'enveloppe extérieure en tôle ou en fonte du générateur et la chemise réfractaire en contact avec le feu, une couche de matière calorifuge telle que de l'amiante ou du sable (Voir la figure 41, représentant le gazogène *Fichet et Heurtey*).

Certains constructeurs, comme M. Pierson, préfèrent interposer un matelas gazeux en faisant circuler le mélange d'air et de vapeur d'eau entre les deux enveloppes. Cette circulation a pour autre avantage d'échauffer le mélange avant de l'envoyer sous la grille dans le gazogène (Voir *fig.* 39).

(1) Mallard et Le Chatelier, *Recherches expérimentales et théoriques sur la combustion des mélanges gazeux explosifs* (*Annales des Mines*, 8e série, t. IV, 1883).

(2) Berthelot et Vieille *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, année 1882.

Digitized by Google

Dans le générateur *Hille*, l'air seul est échauffé par son passage entre les deux enveloppes.

Dans le gazogène à aspiration *Dowson*, présenté au concours des gazogènes tenu à Derby, le 27 juin 1906, par la Royal Agricultural Society (Voir *fig.* 40), on a disposé une garniture de fragments de coke entre l'enveloppe extérieure et la chemise réfractaire. On se sert de l'élévation de température de ce coke pour vaporiser l'eau et échauffer l'air. L'eau arrive dans la partie supérieure de l'enveloppe du gazogène au-dessus de la garniture de fragments de coke; c'est au travers de cette garniture que se fait l'aspiration de l'air et de la vapeur d'eau.

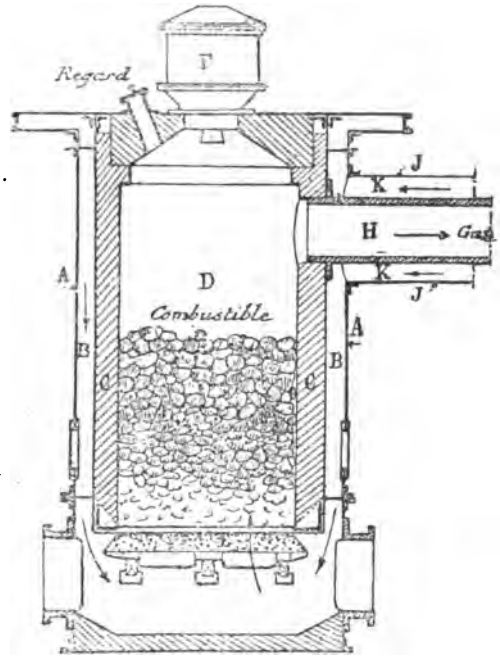


Fig. 39. — Coupe de gazogène Pierson.

A, Paroi démontable par panneaux, avec soufflet de dilatation en haut et regards; — B, Chambre de réchauffage de l'air injecté; — C, Chemise réfractaire; — D, Cuve; — E, Grille; — F, Trémie de chargement; — H, Sortie du gaz produit; — J, K, Arrivée de l'air insufflé.

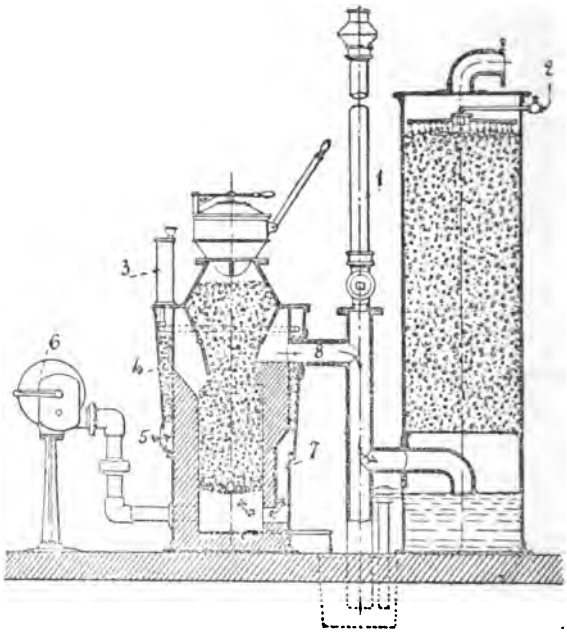


Fig. 40. — Gazogène à aspiration Dowson.

1, Échappement des gaz pendant la mise en marche; — 2, Eau d'alimentation du scrubber; — 3, Eau destinée à fournir la vapeur nécessaire au fonctionnement du gazogène; — 4, Coke au travers duquel on fait passer l'air et l'eau provenant de la partie supérieure (arrosage 3); — 5, Entrée de l'air extérieur; il va s'échauffer en passant au travers de la garniture de coke; — 6, Ventilateur pour la mise en marche; — 7, Air et vapeur arrivant sous la grille après avoir traversé la garniture de coke; — 8, Sortie des gaz produits; ces gaz vont au scrubber.

10. Insufflation centrale de l'air. — 2° *La nécessité de faire traverser à l'air toute la masse du combustible chauffé a conduit, dans les gazogènes de grande section, à insuffler l'air au milieu de la cuve et au-dessus de la grille.* L'air, qui tend toujours à suivre les parois, est ainsi obligé de traverser le combustible. En outre, il s'échauffe dans les scories avant d'arriver à la zone de combustion et ne brûle pas les grilles, puisqu'il aboutit au-dessus. Le gazogène *Fichet et Heurtey* (*fig.* 41) présente un dispositif de ce genre. L'air pénètre sous pression dans le centre du gazogène par le conduit vertical K et par un prolongement en forme de cheminée ; ce prolongement, qui traverse la couche F de cendres et de scories pour aboutir au voisinage de la zone L de combustion, est protégé par un chapeau en acier en forme de champignon ; celui-ci permet à l'air de passer et empêche le charbon et les cendres de pénétrer dans la tubulure.

M. *Lencauchez* construit aussi des gazogènes avec insufflation centrale. La figure 42 représente le schéma de l'un de ces générateurs. Au lieu de reposer sur une grille, la charge

Digitized by Google

de combustible s'appuie sur un fort cône en fonte percé de trous, par lesquels parviennent l'air et la vapeur d'eau. Deux plaques de garde P, percées de trous, permettent de détacher les mâchefers et de les faire tomber dans les bassins placés à la base du gazogène et formant joints hydrauliques. Ces plaques P sont, en outre, parcourues par une circulation d'eau fournissant de la vapeur au foyer. Afin d'être bien certain que les gaz sortant du gazogène sont tous venus en contact avec la partie la plus chaude du combustible dont le gazogène est chargé, on fait la prise de gaz par une tubulure centrale plongeant dans la charge de combustible au niveau du carbone incandescent. Nous verrons l'importance de ce dispo-

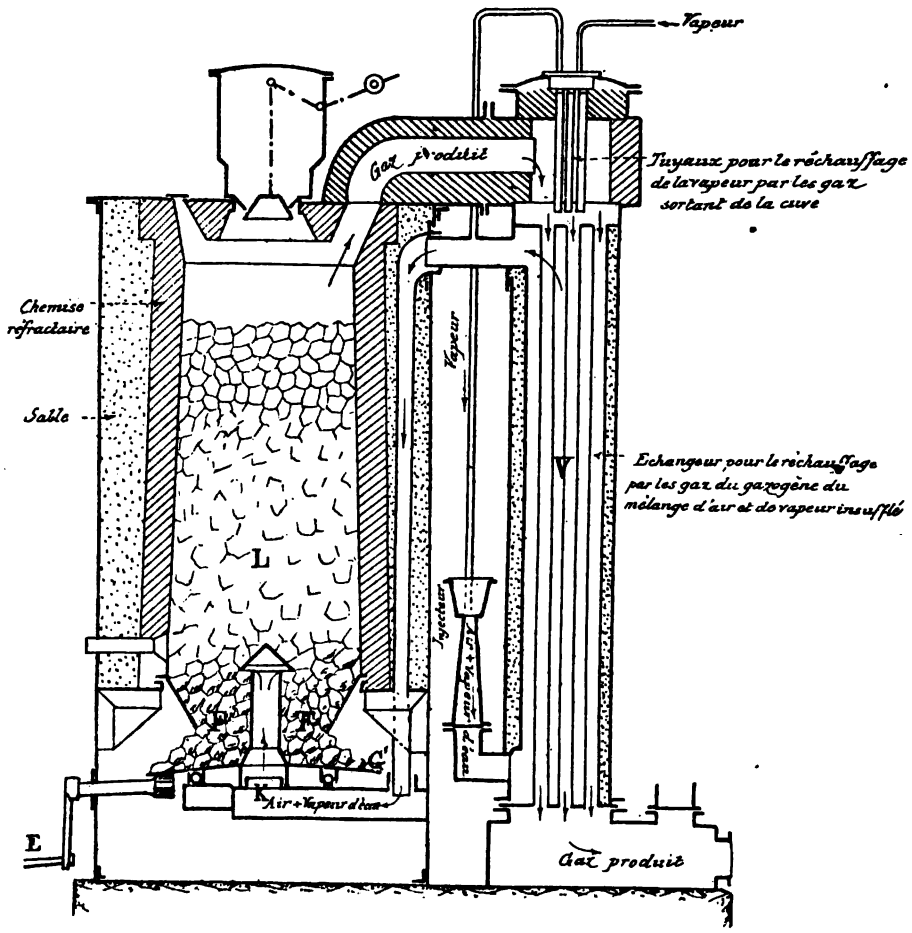


Fig. 41. — Gazogène Fichet et Heurtey.

sitif lorsque nous étudierons les gazogènes alimentés avec des charbons donnant naissance à une grande quantité de produits volatils.

La distribution uniforme de l'air au centre du combustible réalisée au moyen d'une grille conique se retrouve dans le gazogène *Crossley et Rigby* (*fig.* 43); comme dans le *Lencauchez*, le charbon, poussé vers les parois par l'inclinaison de ce cône, empêche le passage de l'air le long de ces parois.

11. Soufflage à vapeur et soufflage mécanique. — Injecteurs de vapeurs. — Ventilateurs. — Exhausteurs. — 3° Pour obtenir une *proportion constante entre l'air et la vapeur*, on utilise parfois, dans les gazogènes soufflés, *un injecteur à vapeur* alimenté

Digitized by Google

par une chaudière indépendante du gazogène. On trouve cet injecteur, qui est souvent du type *Koerting*, dans la plupart des gazogènes dérivés directement des brevets Dowson.

Avec des anthracites très purs, ne contenant pour ainsi dire pas de cendres, le procédé donne de bons résultats. Toutefois il n'en est ainsi que *pour une seule allure ;* si la colonne de combustible devient moins perméable au bout de quelque temps, ou s'il y a des variations notables dans la production du gaz, la soufflerie à vapeur ne se comporte plus bien. En particulier, lorsque l'on veut forcer la production du gaz en augmentant le débit de la soufflerie, on ne peut naturellement y arriver qu'en envoyant une plus grande quantité de vapeur dans l'air. Cette vapeur a dès lors une tendance à éteindre le feu dans le bas du gazogène et à reporter de plus en plus haut la zone de combustion. Pendant quelque temps, le gaz est plus riche, car la proportion d'hydrogène dans le gaz est exagérée, ce qui donne d'ailleurs lieu à des détonations brisantes dans les moteurs. Mais bientôt le feu gagne la partie supérieure de l'appareil ; la hauteur de la colonne de combustible en ignition devient trop faible, il faut arrêter pour vider le gazogène et retirer les scories accumulées dans la cuve.

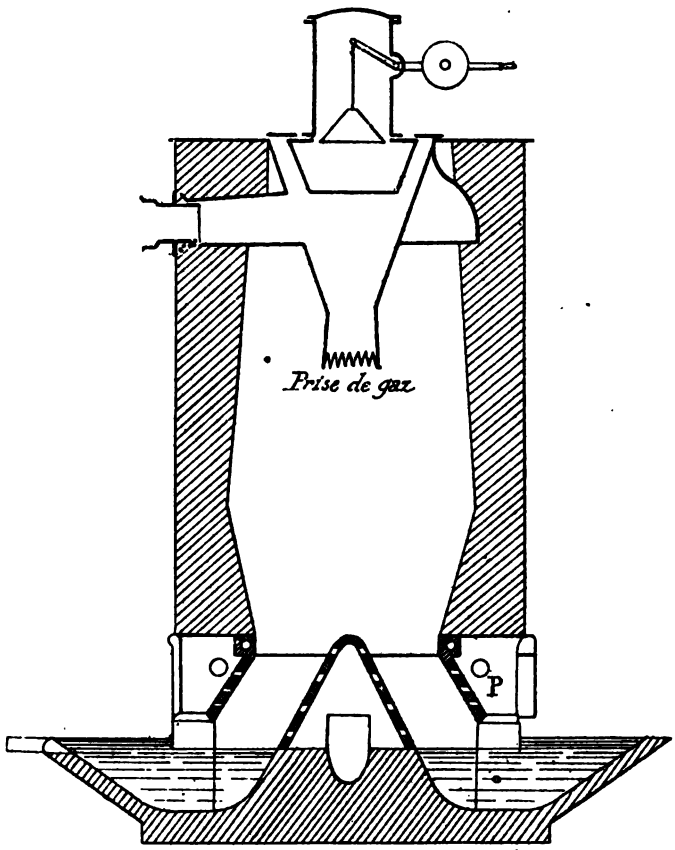


Fig. 42. — Gazogène soufflé à ventilateur Buire-Lencauchez.

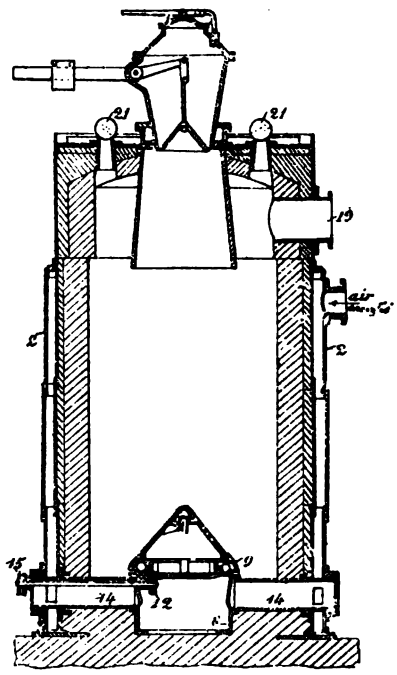


Fig. 43. — Gazogène Crossley et Rigby.
2, Enveloppe pour réchauffer l'air insufflé ; — 8, Socle de la grille ; — 9, Billes sur lesquelles repose la grille conique ; — 12, Pignon de la grille ; — 14, Conduits de l'air insufflé ; — 15, Manivelle pour faire tourner la grille ; — 19, Sortie des gaz produits ; — 21, Trous de tisonnage.

Il n'est pas non plus possible, avec ce genre de soufflage à vapeur, de ralentir trop la soufflerie ; il arrive en effet un moment où l'on n'entraîne plus d'air. Aussi, dans les installations à charge variable avec soufflerie à vapeur, le chauffeur n'a d'autre ressource, pour maintenir son feu en bon état et garder un gaz de composition à peu près constante, que de perdre dans l'air le gaz qui n'est pas pris par la machine ; c'est évidemment là un procédé de réglage défectueux.

Digitized by Google

Pour la mise en marche et le réchauffage d'un gazogène qui est resté en combustion lente pendant une longue période d'arrêt, il convient d'envoyer de l'air chargé le moins possible de vapeur d'eau. Or, nous venons de le voir, il est difficile d'arriver à ce résultat quand l'air est entraîné par un injecteur.

Enfin, avec ce système, on a tous les ennuis de la conduite d'une petite chaudière dont le rendement propre est en général détestable.

Pour remédier à ces inconvénients, on a substitué au soufflage à vapeur le *soufflage mécanique* obtenu au moyen d'un *ventilateur*, d'un *exhausteur* ou d'une *pompe de compression*. Une telle machine ajoute une complication à l'installation, puisqu'elle nécessite une transmission de force; mais elle donne à l'installation une certaine élasticité de marche. Toutefois, dans ce cas encore, il y a certaines précautions à prendre pour l'humidification de l'air soufflé. Il ne suffit pas, par exemple, de laisser couler de l'eau dans

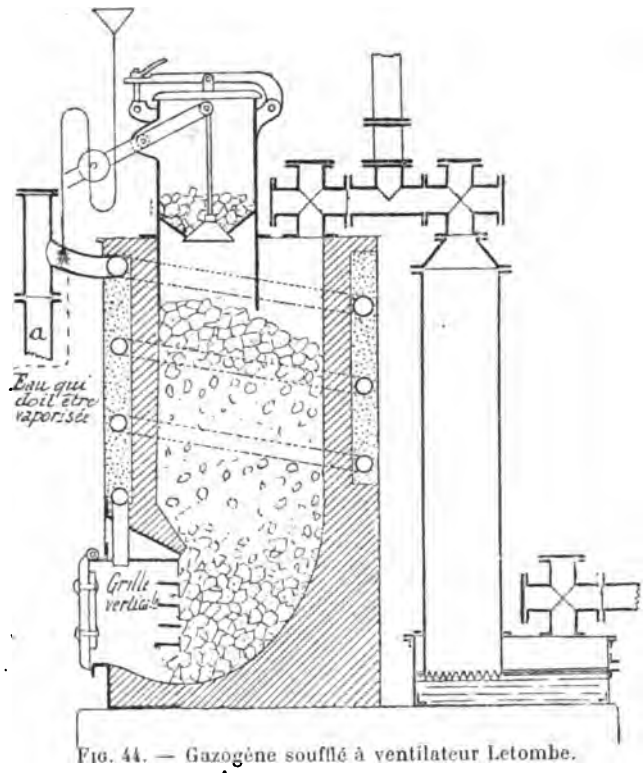


Fig. 44. — Gazogène soufflé à ventilateur Letombe.

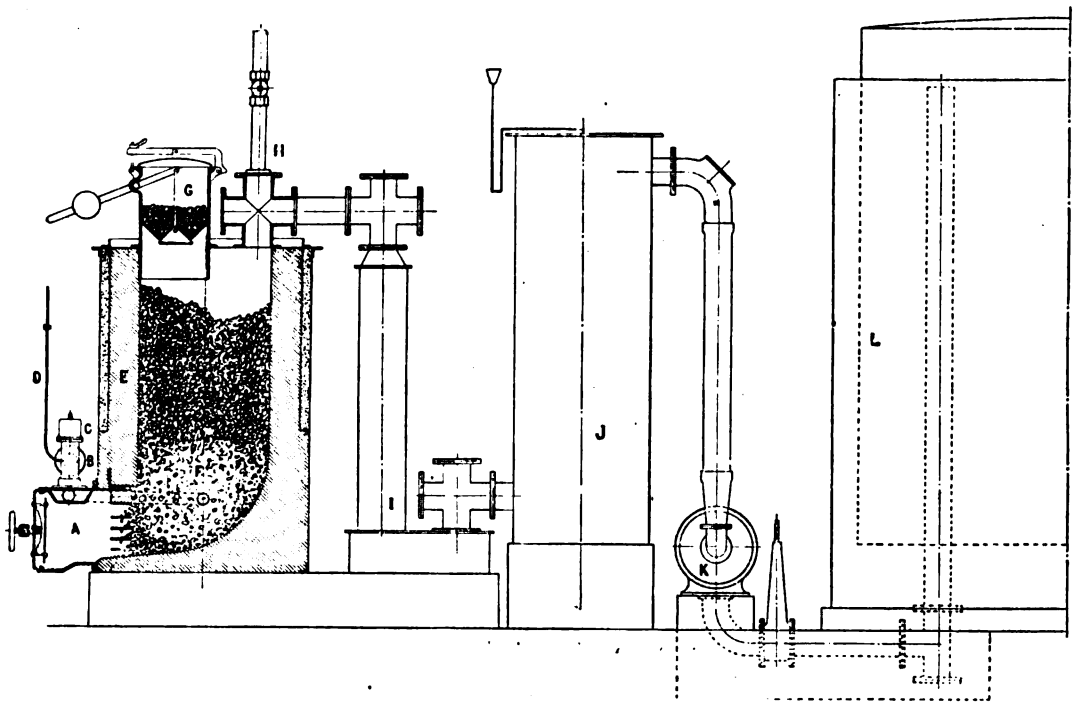


Fig. 45. — Nouveau gazogène soufflé Letombe.

A, Foyer rectangulaire avec grille verticale permettant un facile décrassage à la main; — BC, Ventilateur avec réglage du vent; — D, Ajutage d'arrivée d'eau qui va être pulvérisée dans le vent; — E, Parois réfractaires de la cuve avec enveloppe de sable; — F, Cuve cylindrique dont la base est incurvée afin de rejeter le combustible vers la porte; — G, Chargeur; — H, Conduit permettant l'échappement des gaz à l'air; — I, Barillet; — J, Laveur à coke; — K, Épurateur mécanique turbinant les gaz et les débarrassant de leurs impuretés; — L, Gazomètre.

Digitized by Google

le cendrier. En effet, lorsque le feu est clair, la vaporisation est considérable, et le gaz contient alors de fortes proportions d'hydrogène dont nous avons signalé plus haut l'inconvénient. Lorsque au contraire le feu se couvre, la vaporisation devient faible et on n'a plus qu'un gaz très pauvre; la température du foyer devient trop élevée, ce qui donne lieu à la formation de scories très dures, qui enrochent le foyer et qu'on ne peut arracher le plus souvent qu'à coups de ringard et de marteau.

Dans certains cas, on coiffe le gazogène d'une sorte de chaudière à basse pression, dans laquelle l'air passe avant son envoi dans le foyer. Avec ce dispositif, il est encore difficile de maintenir une proportion constante entre l'air et la vapeur d'eau. En effet, si une marche peu chargée suit une marche très chargée, la quantité d'air envoyée au foyer devient très faible par rapport à la quantité de vapeur.

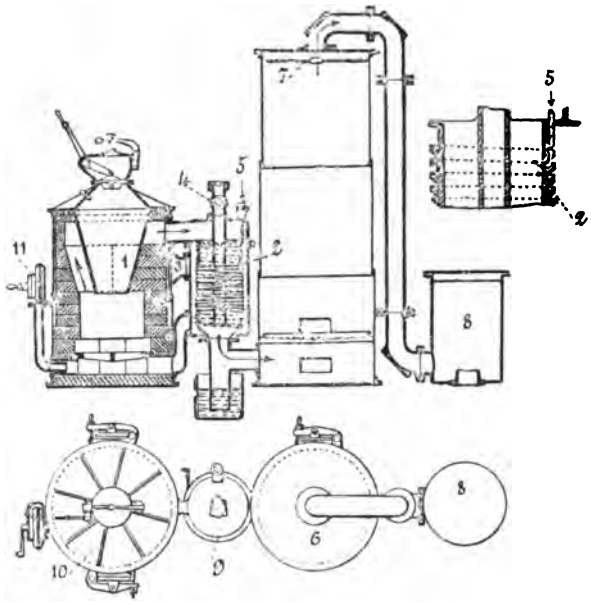


Fig. 46. — Gazogène Kynoch.

1, Cône de distillation chauffé par les gaz produits; — 2, Vaporisateur à gradins chauffé par les gaz sortant du gazogène; — 3, Entrée de l'air; cet orifice est fermé pendant la mise en train; — 4, Robinet pour laisser échapper les gaz dans l'atmosphère au moment de la mise en train; — 5, Arrivée de l'eau qui tombe sur le vaporisateur à gradins 2; pendant la mise en train, la vapeur provenant de cette eau peut arriver sous la grille; — 6, Scrubber; — 7, Pomme d'arrosoir du scrubber; — 8, Chambre de détente; — 9, Vaporisateur; — 10, Générateur de gaz pauvre; — 11, Ventilateur de mise en marche.

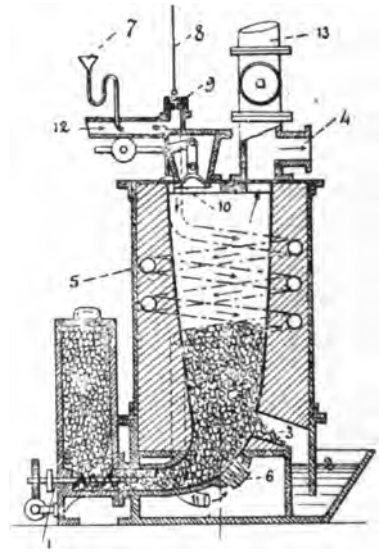


Fig. 47. — Gazogène Guilbaud.

1, Vis pour alimentation continue; — 2, Bac; — 3, Evacuation des scories dans le bac 2; — 4, Echappement des gaz produits; — 5, Serpentin pour échauffement de l'air soufflé par un ventilateur; — 6, Grille; — 7, Alimentation d'eau entraînée par l'air soufflé; — 8, Corde ouvrant l'échappement à l'air en 9 quand le gazomètre est plein; — 10, Valve par laquelle on introduit les copeaux et le bois pour l'allumage; — 11, Air et vapeur arrivant sous la grille 6; — 12, Air soufflé par un ventilateur; — 13, Cheminée pour la mise en feu.

Il est souvent préférable d'employer le procédé préconisé par *M. Letombe*. Le vent, soufflé par un ventilateur, reçoit l'eau nécessaire à son humidification par un ajutage spécial qui fait qu'on obtient un véritable brouillard par pulvérisation de l'eau dans l'air injecté.

Lorsque la bonne proportion est obtenue, un dispositif convenablement disposé permet la perte de l'air chargé d'humidité, au moment où une production moindre de l'appareil est susceptible de produire des variations.

On peut, comme dans le gazogène représenté sur la figure 44, faire passer cet air humide dans un serpentin entourant la cuve et logé dans l'enveloppe de sable. Il suffit souvent d'envoyer directement dans le foyer ce mélange d'air et de vapeur d'eau, comme dans le gazogène représenté sur la figure 45.

Un procédé analogue d'humidification de l'air se rencontre dans le gazogène à aspiration *Fielding*. que nous décrirons plus loin.

Digitized by Google

12. Production de la vapeur. — Nous venons de rencontrer divers modes de production de la vapeur. On peut employer, pour l'obtenir, soit une *chaudière indépendante du gazogène*, chauffée à l'aide des menus que le combustible fournit, soit une chaudière *faisant partie du gazogène*. En étudiant les gazogènes à aspiration, nous rencontrerons un grand nombre de ces appareils dans lesquels la chaudière est placée à *la partie supérieure de la cuve du générateur*, ou *autour de la grille* comme dans le gazogène *Pierson*.

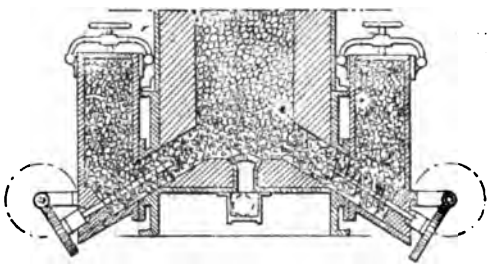


Fig. 48. — Gazogène Guilbaud.

Toutefois un grand nombre de constructeurs suppriment cette chaudière, comme le fait *M. Letombe;* d'autres emploient un dispositif tel que celui que nous rencontrerons dans les gazogènes *Fielding* et *Platt*.

D'autres enfin utilisent, pour la vaporisation de l'eau, soit la chaleur dégagée par les gaz chauds sortant du gazogène (gazogène *Kynoch*, *fig.* 46), soit la chaleur dégagée par la grille (injection d'eau dans le foyer).

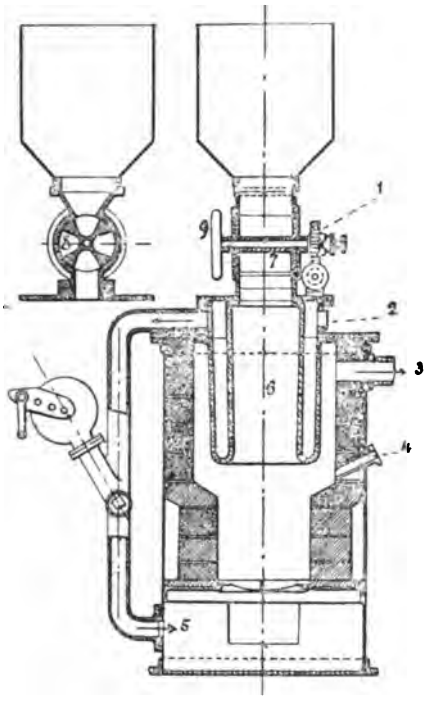


Fig. 49. — Gazogène Griffin.

1, Commande du chargeur à noyau évidé; mouvement produit par le piston d'un petit cylindre; ce piston est actionné dans un sens par la pression de l'échappement du moteur et dans l'autre sens par un ressort; — 2, Alimentation d'air; — 3, Sortie du gaz; — 4, Regard; — 5, Conduite d'air et de vapeur allant au-dessous de la grille; — 6, Partie vide entourée par la paroi de la chaudière; — 7, Chargeur; — 8, Chargeur rotatif à noyau évidé; — 9, Volant permettant de manœuvrer le chargeur à la main au moment de la mise en marche.

13. Eviter les variations de composition du gaz au moment du chargement du charbon frais. — 4° La composition du gaz produit par un gazogène peut subir des *variations notables au moment des divers chargements de charbon frais* (1).

Il serait, par suite, très bon de réaliser un *chargement continu* du gazogène.

On le réalise approximativement, comme dans le gazogène à aspiration *Crossley et Rigby* (qui sera décrit plus loin, *fig.* 68), en employant une longue trémie dans laquelle le charbon séjourne avant de s'écouler dans le gazogène.

Dans le gazogène *Guilbaud*, on a cherché à réaliser l'alimentation continue par le bas, soit au moyen d'une seule vis (*fig.* 47), soit, ce qui est préférable, au moyen de deux vis (*fig.* 48) tournant dans deux conduits droits moins susceptibles de s'engorger que le conduit courbe de la figure 47.

A défaut de dispositifs de chargement continu ou à peu près continu, il est bon de faire les chargements à courts intervalles et avec peu de charbon à la fois. Dans les gazogènes à aspiration, l'intervalle entre les chargements est d'environ deux heures.

Ce chargement se fait parfois d'une manière automatique.

L'alimentation du gazogène *Griffin* (*fig.* 49) se fait par un robinet à quatre comparti-

(1) Voir, à ce sujet, les expériences de E. Meyer (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1896, p. 1239 et 1304). — Hugo Güldner, *Calcul et Construction des moteurs à combustion*, traduction Desmarest (Paris, Ch. Béranger, p. 518).

Digitized by Google

ments 8, actionné mécaniquement ou à la main. Chacun des compartiments contient environ 1 kilogramme de charbon ; un tour du robinet donne environ 4 kilogrammes de charbon, ce qui suffit, avec un gazogène de 30 chevaux, à son entretien en marche fermée pendant une nuit. Le chargeur 8 est commandé par un piston avec cliquet le faisant tourner d'un

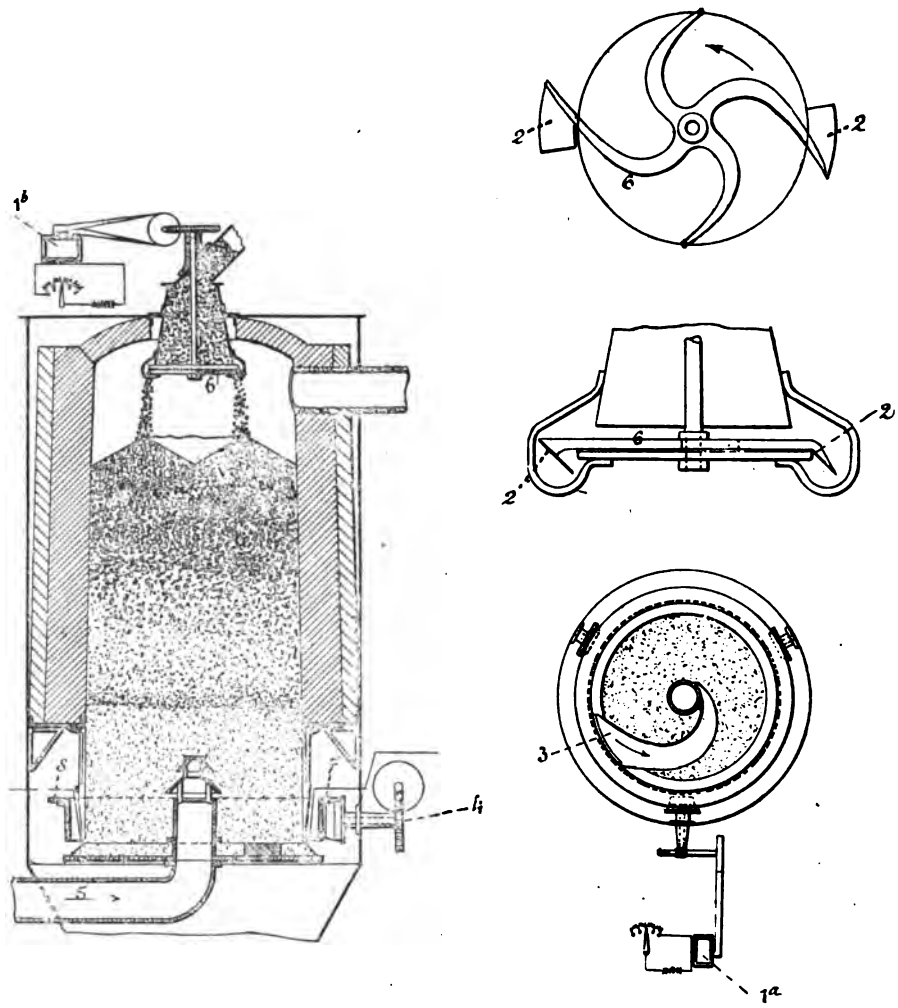


FIG. 50. — Gazogène Triumph.

1a, 1b, Dynamos; — 2, 2, Palettes pour la distribution du combustible; — 3, Racloir; — 4, Entraînement du racloir pour le décrassage; — 5, Arrivée d'air et de vapeur d'eau; — 6, Bras soutenant les palettes 2, 2 pour la distribution du combustible; — 7, Contact d'entraînement du racloir 3; — 8, Anneau entraîné en même temps que le racloir 3.

cran à chaque échappement du moteur mis en communication avec le cylindre dans lequel la course du piston est réglable.

Dans le gazogène *Triumph* (*fig.* 50), la distribution automatique du combustible se fait par les bras 6 entraînant les palettes 2, 2. Cette distribution est commandée par la dynamo 1b. La dynamo 1a commande le décrassage, qui se fait avec le racloir 3 entraîné en 7 avec l'anneau 8. Les dynamos 1a et 1b se règlent de manière à proportionner le décrassage à la grandeur de l'alimentation.

Un certain nombre d'ingénieurs, parmi lesquels M. *Bildt*, croient, en outre, qu'il y a *grand avantage à ce que le charbon soit répandu dans l'intérieur du gazogène suivant une couche bien horizontale.* Ils estiment que, s'il y a plus de charbon d'un côté que de l'autre, ou s'il y en a plus sur les bords qu'au milieu, ces inégalités variables tendent à modifier la

Digitized by Google

hauteur des couches des charbons traversés, à influencer ainsi la richesse du gaz produit et à produire des cheminées encore plus nuisibles.

Dans le gazogène *Genty* (*fig.* 70), on s'efforce, au contraire, de distribuer le combustible à la périphérie de la cuve du gazogène. Le combustible, chargé dans la trémie *p*, tombe dans une cornue métallique *r* disposée au-dessus du cône déflecteur *s*. Le combustible glissant sur la surface inclinée de ce cône se trouve distribué à la périphérie de la cuve *g* en passant entre quatre conduits inclinés *t*, par lesquels le gaz se dégage vers le haut de l'appareil.

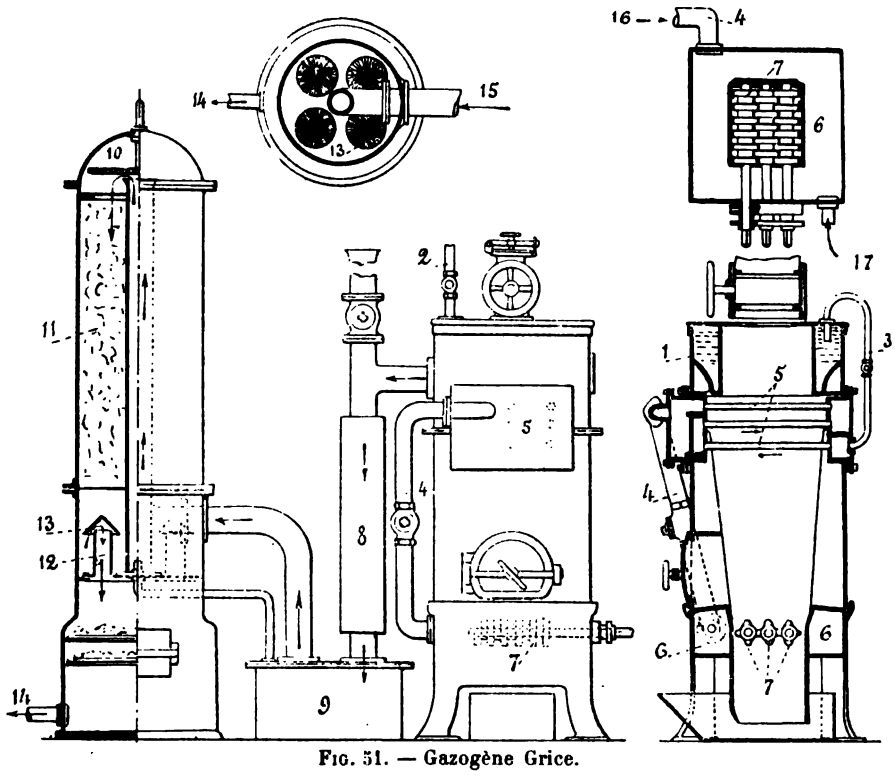


Fig. 51. — Gazogène Grice.

1, Réservoir en communication avec une dérivation de l'échappement du moteur; — 2, Dérivation de l'échappement du moteur; — 3, Communication du réservoir 1 avec les tubes de la chaudière dans lesquels est refoulée par l'échappement du moteur l'eau venant du réservoir 1; — 4, Communication de 5 avec le surchauffeur 6, 6; — 5, Tubes de chaudière alimentés par l'eau du réservoir 1; — 6, Surchauffeur; — 7, Grille à barreaux tournants avec dents à joints rompus brisant les scories; — 8, Refroidisseur; — 9, Laveur; — 10, Arrosoir du scrubber; — 11, Scrubber; — 12, Tuyau garanti par le capuchon 13; — 13, Capuchon protégeant les tubes 12 de l'eau qui tombe de 11; à leurs bases se trouvent des toiles métalliques au travers desquelles le gaz passe en abandonnant des impuretés; — 14, Au moteur; — 15, Gaz venant du gazogène; — 16, Entrée de l'eau au surchauffeur; cette eau vient de la chaudière 5 par le conduit 4; — 17, Entrée de l'air.

A partir de la base du cône et au-dessous de celui-ci, le combustible forme, par éboulement naturel, un talus circulaire constituant une concavité opposée au cône. C'est dans la capacité ainsi constituée que le gaz produit se dégage du combustible qui remplit la cuve *g*.

Par suite de cette disposition, l'épaisseur de combustible à traverser à partir de la grille est beaucoup plus faible au centre qu'à la circonférence de la cuve *g*; la combustion est alors beaucoup plus active au centre du gazogène qu'au voisinage des parois réfractaires, dont la température se trouve ainsi modérée.

D'autre part, l'alimentation en combustible neuf ayant lieu le long des parois, tandis que la consommation du combustible se fait surtout au centre, c'est dans la région centrale que les cendres et mâchefers se rassemblent, et il ne s'en forme pour ainsi dire pas le long des parois. D'ailleurs, comme il a été expliqué plus haut, la température le long des parois est modérée, et l'adhérence des mâchefers sur les matériaux réfractaires ne peut pas se produire.

Digitized by Google

14. Décrassage mécanique par sole tournante. — 5° Le combustible contient toujours des cendres qui s'accumulent à la partie inférieure et qu'il convient d'enlever, soit pour ne pas empêcher l'arrivée de l'air au-dessous de la grille, soit pour maintenir le même régime de combustion dans le gazogène lorsque l'arrivée de l'air se fait au-dessus de la grille.

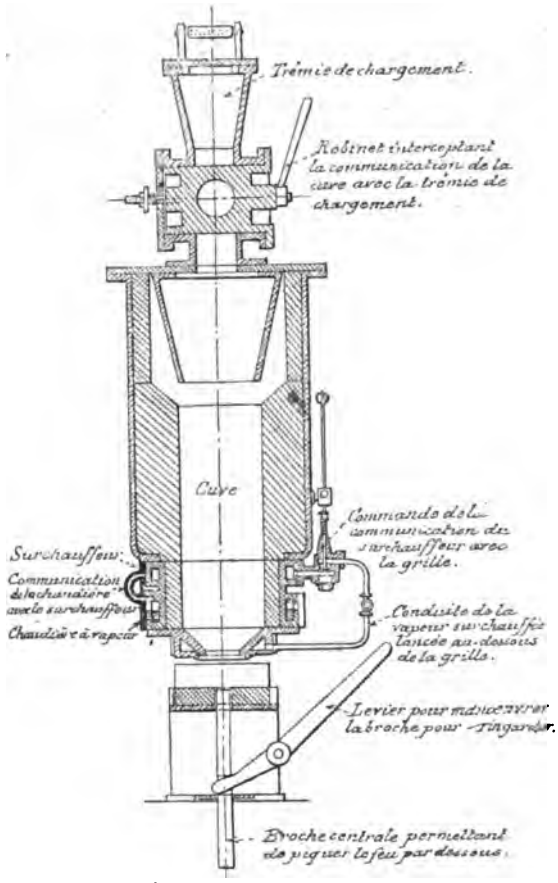


Fig. 52. — Générateur Pierson.

Cette opération, dite du *décrassage*, doit pouvoir se faire en cours de marche sans modifier la composition du gaz, soit par suite d'un refroidissement de la zone incandescente, soit par suite de l'introduction d'un excès d'air nuisible, soit encore par la suspension momentanée de l'injection de vapeur.

A cet égard, les appareils à décrassage mécanique, à grille mobile ou à sole tournante, présentent l'avantage de pouvoir faire tomber les cendres sans changer le régime de fonctionnement de l'appareil. Toutefois il importe de remarquer que le charbon employé doit être de qualité supérieure, qu'il ne doit pas donner des scories collantes et dures. Dans ce cas, en effet, la grille tournante se trouve rapidement immobilisée et devient une gêne pour le service du gazogène. Une grille verticale [gazogène *Letombe* (*fig.* 44 et 45)] est souvent préférable pour réaliser un facile décrassage.

Le gazogène *Fichet-Heurtey* (*fig.* 41) présente une grille tournante. La manivelle E permet de faire tourner la sole G′ portée sur un roulement à billes.

Le gazogène *Crossley-Rigby* (*fig.* 43) comporte un dispositif analogue. La grille conique repose sur des billes indiquées 9 sur la figure 43, et peut être facilement tournée par la manivelle 15, parce qu'elle ne supporte plus qu'une portion du poids du combustible, dont la majeure partie repose sur le fond du gazogène. Le pignon 12, qui transmet à la grille le mouvement de la manivelle 15, est rafraîchi par l'appel de l'air en 8.

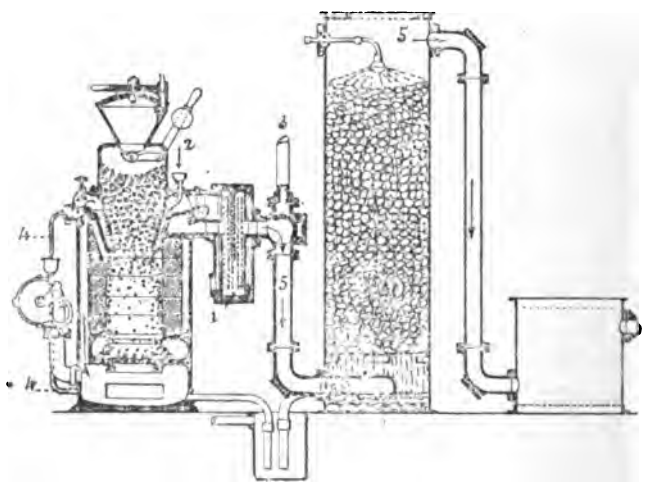


Fig. 53. — Gazogène Hindley.

1, Réchauffeur d'air; — 2, Alimentation d'eau de la chaudière; — 3, Tuyau de tirage pour la mise en marche; — 4, Tuyau conduisant l'excès d'eau au cendrier; — 5, Gaz.

Digitized by Google

Dans le gazogène à aspiration *Grice* (*fig.* 51), la grille 7 est à barreaux tournants avec dents à joints rompus brisant les scories.

15. Les cendres nécessitent un réglage de l'allure plus ou moins chaude du gazogène. — Influence de l'attaque des grilles par les cendres. — 6° Les cendres nécessitent un réglage de l'allure plus ou moins chaude du gazogène et, par suite, de la quantité d'eau injectée avec l'air. En effet, ces cendres fondent à des températures variables qui sont comprises entre 1.000 et 1.300°. Si l'allure du gazogène est *chaude*, si la température de combustion s'élève au-dessus de 1.400°, ces cendres fondent, se combinent avec le fer des grilles et l'alumine des parois réfractaires pour former des silicates doubles d'alumine et de chaux ou de fer fusibles, c'est-à-dire des *mâchefers;* ces cendres fusibles peuvent nuire à la circulation de l'air en empâtant les couches de combustible. Si l'allure du gazogène est *froide*, cas auquel on injecte une grande quantité de vapeur d'eau, il ne se produit pas de mâchefers; les cendres tombent en poussière.

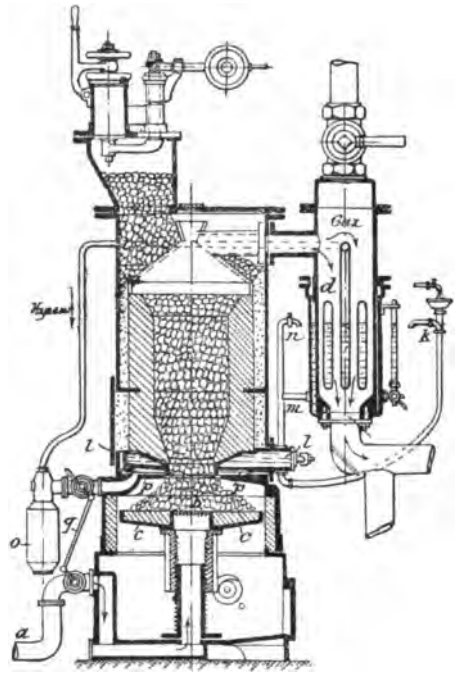


Fig. 54. — Générateur Catier.

a, Arrivée d'air; — *b*, Grille; — *c*, Plate-forme mobile supportant la grille *b*; — *d*, Chaudière à tubes d'eau; — *k*, Alimentation d'eau de la chaudière; — *l*, Chaudière annulaire; — *m*, Communication des deux chaudières *l'* et *d*; — *n*, Communication avec l'atmosphère; — *o*, Récipient pour l'eau de condensation; — *p*, Surchauffeur de la vapeur; — *q*, Robinets de réglage de l'air et de la vapeur d'eau.

Il ressort de ce que nous venons de dire que l'on a intérêt à employer dans les gazogènes des combustibles fournissant peu de cendres. A ce titre, le charbon de bois d'abord, puis l'anthracite anglais ou américain se placent au premier rang. Le coke conserve toute la cendre de la houille qui a servi à le préparer; il est en général assez cendreux, et il y a avantage à le laver.

D'ailleurs cette action nuisible des cendres sur les parois réfractaires du gazogène a conduit quelques ingénieurs, parmi lesquels M. *Deschamps*, à construire des gazogènes dépourvus de garniture réfractaire; nous étudierons plus loin un type de ces gazogènes.

L'attaque des grilles par les cendres rend indispensable un autre mode de construction des gazogènes. Les grilles doivent être amovibles et d'un accès facile pour permettre de les remplacer éventuellement; les grilles formées de barreaux indépendants paraissent à ce point de vue préférables. Dans les générateurs dont le cendrier forme cuvette contenant de l'eau, les grilles et la base de la cornue sont moins exposées à être brûlées que dans les générateurs à cendrier sec. Dans certains gazogènes, on a même supprimé les grilles [gazogène *Taylor* (*fig.* 55) ; gazogène *Pierson* (*fig.* 52 et 65) ; gazogène *Delion et Lepeu* (*fig.* 74)]. Le combustible est maintenu dans la cornue par les cendres, qui s'étalent en cône à la base sur une tôle accessible pour le nettoyage et descendent graduellement. Le générateur *Pierson* (*fig.* 52) est muni, en guise de ringard, d'une broche centrale qui, manœuvrée à l'aide d'un levier, permet de piquer le feu par-dessous sans étendre à l'excès le cône de cendres.

Dans un certain nombre d'appareils (gazogène *Hindley*, *fig.* 53) munis d'une grille, il existe un intervalle entre celle-ci et le support de la cornue. Cette disposition, qui facilite le décrassage, paraît également avantageuse en ce sens qu'elle contribue à ne laisser passer dans le

Digitized by Google

cendrier que les cendres complètement brûlées et à l'état pulvérulent. Elle permet, en outre, d'employer une grille à grande surface, favorable au passage du mélange d'air et de vapeur. Dans le gazogène *Catier* (*fig.* 54), la hauteur de la grille est réglable suivant la marche du gazogène et la nature du combustible employé.

16. Grosseur convenable des morceaux de combustible. — 7° Les inconvénients que peut présenter la fusibilité des cendres sont surtout considérables dans les gazogènes à aspiration, où le moteur ne peut, par son appel, produire qu'une faible dépression. Pour la même raison, *il importe que les morceaux de charbon ne soient pas trop petits*, afin de ne pas opposer au passage de l'air et du gaz produit une résistance nuisible. Il faut d'ailleurs concilier cette condition avec la nécessité de ne pas payer trop cher le combustible. *Les morceaux de* 15 *à* 30 *millimètres conviennent très bien pour ces générateurs;* ils représentent à peu près la grosseur d'une noisette. Les charbons criblés sont donc à employer de préférence aux autres.

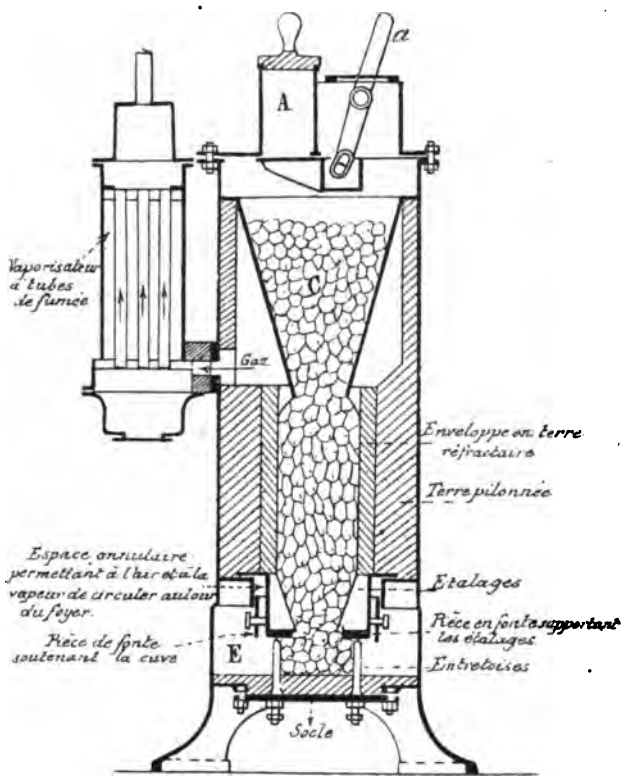


Fig. 55. — Gazogène Taylor à aspiration.

A, Trémie de chargement; — *a*, Levier de manœuvre du tiroir de la trémie de chargement; — C, Cône de descente du charbon; — E, Chambre dans laquelle débouchent l'air et la vapeur.

17. Récupération des chaleurs perdues par les gaz de gazogène destinés à l'alimentation des moteurs. — 8° La température des gazogènes est difficile à déterminer.

En général, dans les gazogènes fonctionnant au *coke*, on estime à 1.000° la température au bas de la cuve; elle s'élève à 1.300° à quelques centimètres en dessus, pour tomber à 500° ou 600° au haut de la cuve; les gaz s'échappent donc à des températures voisines de 500 à 600°. Ces températures varient d'ailleurs beaucoup avec les conditions de marche, la quantité d'eau injectée, la surchauffe de l'air ou de la vapeur.

D'autre part, lorsque les gaz produits doivent alimenter un moteur, il faut les refroidir.

On profite de cette nécessité pour employer la chaleur dégagée par ces gaz, soit à *échauffer l'air*, soit à *produire* ou à *surchauffer la vapeur d'eau nécessaire au gazogène.* On obtient ce résultat, soit en mettant une chaudière annulaire autour de la trémie, en haut du gazogène; soit en plaçant cette chaudière, en tubes pendentifs, dans la conduite de gaz, à l'entrée de l'échangeur, comme dans l'appareil *Fichet et Heurtey* (*fig.* 41); soit en faisant une petite chaudière extérieure, à tubes de fumée traversés par les gaz, comme dans le gazogène *Taylor* (*fig.* 55).

18. Épuration du gaz. — Importance de cette épuration. — Le refroidissement des gaz avant leur arrivée au moteur est complété dans une *colonne à coke* ou *scrubber*.

Digitized by Google

Cet appareil a aussi pour but de retenir les poussières lourdes qui peuvent être entraînées.

Mais les gaz produits avec les meilleurs anthracites contiennent parfois des traces de goudrons qui sont suffisantes pour entraver la marche des moteurs en collant la soupape d'admission. D'après *M. Lencauchez* (1), il suffit souvent de traces infinitésimales de goudron, soit 0gr,045 (quarante-cinq millièmes de gramme) par mètre cube, pour arrêter un moteur à gaz de 300 chevaux, et cela en quelques heures de marche.

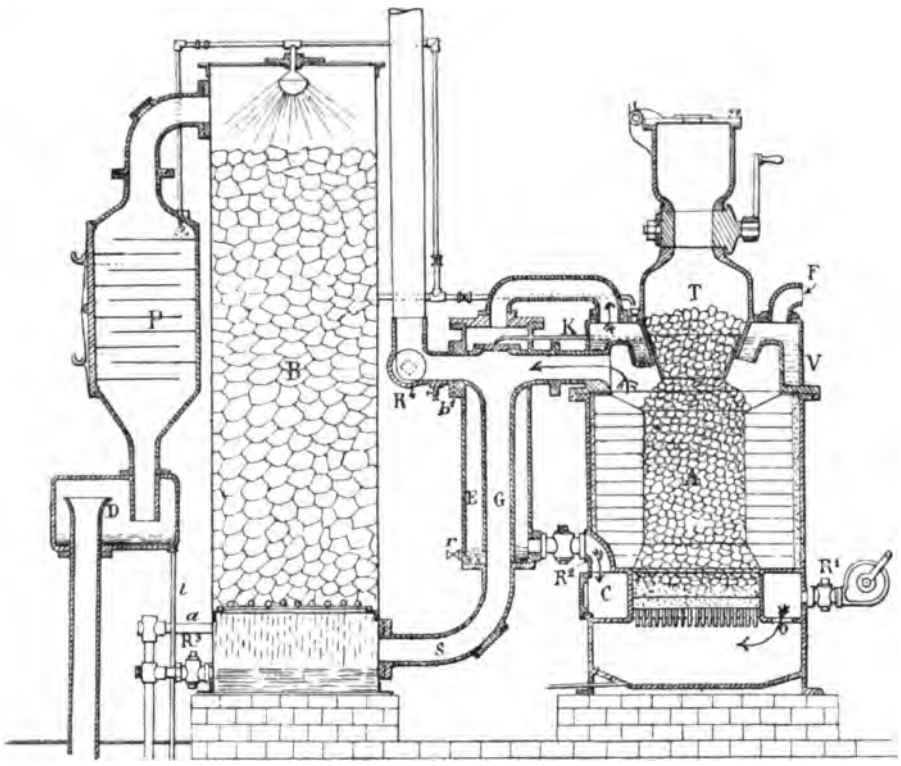


Fig. 56. — Générateur à aspiration Fétu-Defize.

F, Entrée de l'air; — V, Chaudière chauffée par les gaz sortant du générateur; — E, Enveloppe dans laquelle se rend l'air chargé de vapeur d'eau; il se réchauffe au contact de G; — R², Robinet de communication de l'enveloppe E avec le surchauffeur C; — C, Surchauffeur entourant le foyer; — O, Sortie du mélange d'air et de vapeur d'eau; arrivée de ce mélange à la grille; — K, Trop-plein maintenant le niveau de l'eau dans le vaporisateur V; l'eau venant du trop-plein est ramenée dans l'enveloppe E et de là dans le surchauffeur et le cendrier; — A, Cuve du générateur; — T, Trémie de chargement; — G, Tuyau de sortie des gaz; — R⁴, Robinet de communication avec le tuyau de dégagement à l'air pendant l'allumage; — R¹, Robinet de communication avec le ventilateur pour l'allumage; — b¹, r, Robinets de purge; — S, Conduite des gaz au scrubber; — B, Scrubber; — P, Boîte à chicanes; — D, Séparateur; — t, Tuyau d'écoulement de l'eau venant de la boîte à chicanes; — R³, a, Robinet et tuyau d'écoulement de l'eau sortant de la partie inférieure du scrubber.

Aussi *l'épuration du gaz destiné à l'alimentation d'un moteur est-elle tout à fait capitale*. C'est sur elle que les constructeurs doivent porter leur attention ; d'une bonne épuration dépend en effet souvent le succès d'une installation de gazogènes à gaz pauvre. Il ne faut donc pas craindre de donner une certaine extension aux appareils d'épuration.

Les scrubbers ne sont pas toujours suffisants pour assurer la bonne marche d'un générateur alimenté à l'anthracite contenant 7 à 8 0/0 de matières volatiles.

Dans le gazogène *Fétu-Defize* (*fig.* 56), le scrubber B est suivi d'un épurateur formé d'une boîte à chicanes P et d'un séparateur D. Le gaz venant du scrubber rencontre une série de palettes en tôle mince et lisse, dont une moitié est coulée dans la boîte et dont l'autre moitié est fixée au couvercle. Les palettes du couvercle glissent dans des rainures latérales de la boîte ; elles constituent des tiroirs amovibles facilement nettoyables. Les passages entre

(1) A. Lencauchez, *Etudes sur divers gaz combustibles*, 2e partie (Paris, Bernard Tignol, p. 83).

Digitized by Google

les palettes sont proportionnés de telle manière que la force vive du gaz au travers de l'appareil soit suffisante pour lancer contre les palettes, dans les changements de direction, les poussières et autres impuretés. Un filet d'eau arrive à la partie supérieure et s'écoule en entraînant les dépôts sur les palettes.

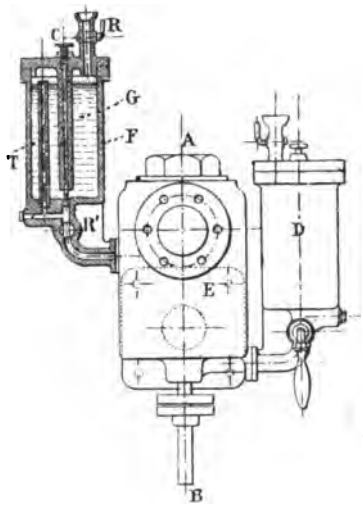


Fig. 57. — Soupape d'admission d'un moteur à gaz avec dégoudronneur mécanique et chimique Lencauchez.

E, Boîte à clapet (soupape d'admission); on voit la tige du clapet en B; — F, Dégoudronneur du plateau de la soupape d'admission; — R, Entonnoir à robinet d'introduction de pétrole lampant; — G, Pétrole lampant pour le dégoudronnage du plateau de la soupape d'admission; — R', Robinet d'écoulement dans la boîte à clapet; — C, Aiguille de réglage d'écoulement du pétrole; — T, Tuyau établissant la communication entre l'ajutage conduisant à la boîte à clapet E et la surface supérieure du pétrole dans le récipient F; il y a, par suite, égalité de pression sur la base et sur la surface supérieure du pétrole; — D, Dégoudronneur de la tige du clapet.

Le gazogène soufflé *Letombe* (*fig.* 45) présente après le laveur à coke un épurateur mécanique destiné à turbiner les gaz et à les débarrasser de leurs impuretés.

Malgré tous les soins donnés pour la bonne épuration du gaz d'un moteur, on peut craindre l'influence néfaste des goudrons. C'est pourquoi *M. Lencauchez* (1) considère qu'un *dégoudronneur de soupape d'admission* est indispensable à tout moteur bien construit.

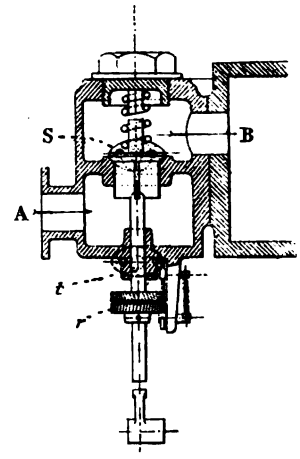


Fig. 58. — Coupe suivant AB (*fig.* 57) de la boîte à clapet E du dégoudronneur Lencauchez.

A, Arrivée du gaz pauvre; — B, Culasse du moteur; — S, Soupape d'admission; la section du tuyau d'arrivée du pétrole est visible sur la figure; — *t*, Tige de la soupape d'admission; la section du tuyau d'arrivée du pétrole est visible sur la figure; — *r*, Roue à rochet, tournant de la valeur d'une dent [1/37 ou 1/41 d'un tour] à chaque levée du clapet.

Le pétrole épuré du commerce, dit *pétrole lampant*, est le meilleur agent de nettoyage des pièces engluées de goudron. Il est donc important qu'une boîte à clapet ou soupape puisse recevoir du pétrole. Les figures 57 à 59 représentent une boîte de soupape d'admission d'un moteur à gaz avec dégoudronneur mécanique et chimique Lencauchez. Un récipient F (qui a la forme extérieure d'un graisseur de machine à vapeur) contient du pétrole lampant. Ce récipient porte un robinet d'introduction du pétrole, un robinet d'écoulement de ce pétrole dans la boîte à clapet, une aiguille de réglage d'écoulement du pétrole, un tube de communication de pression pour éviter les chocs et pressions anormales sur le pétrole dans le récipient. La tige du clapet pouvant aussi s'engluer, un second récipient D, semblable au premier, introduit du pétrole dans sa douille, pour dissoudre le goudron et le faire passer au cylindre, où il est brûlé avec le gaz moteur.

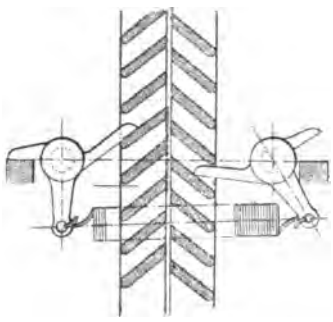


Fig. 59. — Détails de la roue.

Les figures 57 et 59 font aussi voir une roue à rochet qui, par rotation, produit le rodage sans usure et un bon dégoudronnage.

19. Combustibles à employer dans les gazogènes à combustion directe. — Cette discussion nous montre donc que le *charbon de bois* est indiscutablement le meilleur combustible à employer dans un gazogène. Il est dépourvu de produits volatils; il fournit peu

(1) Lencauchez, *loc. cit.*, p. 84.

Digitized by Google

de cendres, se tient bien au feu, ne tombe pas en poussières sous l'action de la haute température à laquelle il est porté. Il produit un gaz qui ne renferme que de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone, de l'anhydride carbonique et de l'azote. Aussi la maison Taylor s'est-elle adressée au charbon de bois quand elle a voulu faire, pour les voitures automobiles, un gazogène parfait, peu encombrant et suffisamment léger[1].

Malheureusement le charbon de bois est beaucoup trop cher; de plus, comme nous le verrons plus loin, on peut, en opérant dans des conditions convenables, produire un excellent gaz au moyen du bois qui sert lui-même à la préparation des charbons. Aussi le charbon de bois n'est-il presque jamais employé directement dans les gazogènes.

Le meilleur combustible que l'on puisse substituer au charbon de bois est l'anthracite anglais ou américain, qui est dur, peu friable et contient de très faibles proportions de cendres. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les anthracites du pays de Galles et de Llanelly.

Le coke vient en troisième lieu. Il est inférieur à l'anthracite en ce que, s'il ne contient pas de produits volatils, il conserve toute la cendre et presque tout le soufre que contenait la houille originelle; *l'hydrogène sulfuré qui peut en résulter est plus particulièrement à éviter dans le gaz destiné à l'alimentation des moteurs.* En revanche, le coke ne gonfle pas, puisqu'il a déjà subi une cuisson; il descend bien dans la cuve du gazogène et ne forme pas de voûtes. Aussi, pour les petites installations, le coke est-il le combustible que l'on tend à choisir de préférence.

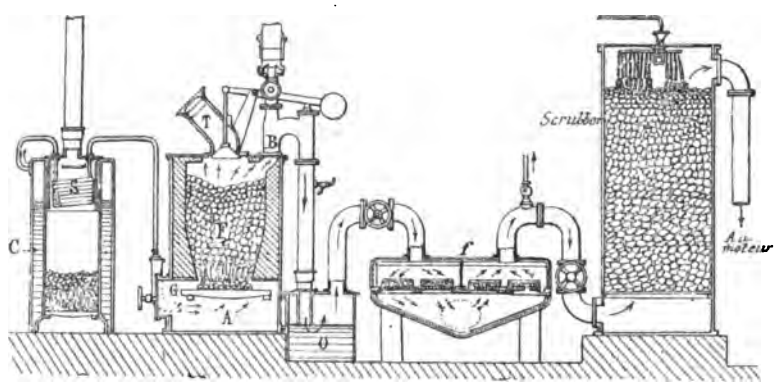


Fig. 60. — Gazogène Dowson de la Gasmotoren Fabrik de Deutz.
A, Arrivée du mélange d'air et de vapeur sous la grille G; — B, Sortie des gaz du générateur; — C, Chaudière; — F, Cuve; — *f*, Epurateur-filtre; — O, Joint hydraulique empêchant les retours de gaz au générateur; — S, Serpentin pour surchauffer la vapeur; — T, Trémie de chargement.

L'étude générale que nous venons de faire des conditions de fonctionnement d'un gazogène à combustion directe alimenté au coke ou à l'anthracite demande à être complétée par la description de quelques types d'installations actuellement en fonctionnement. Nous nous contenterons ici de quelques indications sur les gazogènes soufflés pour porter toute notre attention sur les gazogènes à aspiration, qui tendent à être seuls employés.

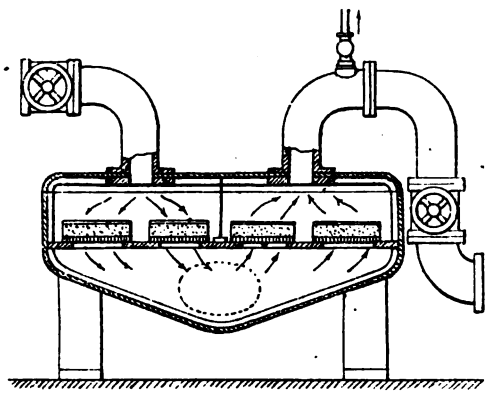


Fig. 61. — Épurateur à sciure de bois
(Gazogène Dowson de la Gasmotoren Fabrik de Deutz).

20. Gazogène soufflé à injecteur de la Gasmotoren Fabrik de Deutz. — La figure 60 représente l'ensemble d'une installation de gazogène soufflé du type Dowson construit par la *Gasmotoren Fabrik de Deutz.*

[1] Deschamps, *les Gazogènes*, p. 222.

Digitized by Google

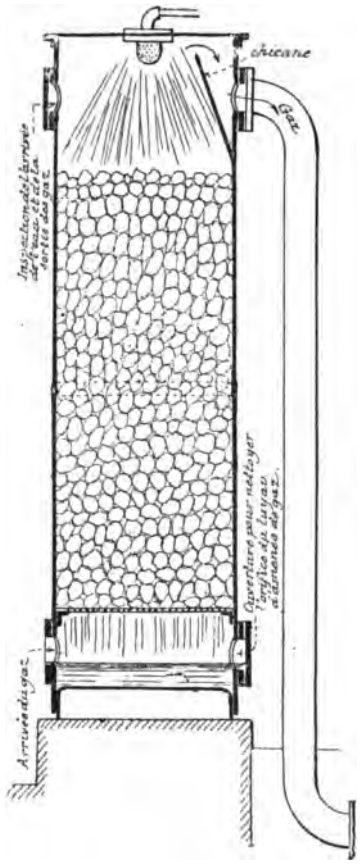


Fig. 62. — Scrubber Otto-Deutz.

Donnons quelques détails sur l'*épurateur-filtre* représenté à grande échelle sur la figure 61. Il se compose essentiellement d'une cuve dont les cloisons horizontales sont percées de grandes ouvertures rectangulaires, sur lesquelles sont placés des tiroirs en tôle ajourée, qui sont remplis de corps à l'état divisé, jouant le rôle de filtres. Le tout est contenu dans une caisse en tôle ou en fonte; généralement, comme le représentent les figures 60 et 61, le filtrage se fait d'abord de haut en bas pour se continuer, dans l'autre moitié de l'appareil, de bas en haut, grâce à une cloison verticale médiane. Des portes latérales permettent de retirer les tiroirs et de changer la matière qu'ils contiennent. Enfin, en général, dans ces appareils d'épuration, il y a plusieurs tiroirs superposés.

On met dans ces tiroirs soit du grésillon de coke, soit de la paille ou des fibres de bois, de la sciure de bois; soit enfin quelquefois des compositions spéciales à base d'oxyde de fer, par exemple un mélange d'hydrate de chaux et d'oxyde de fer naturel; ou encore la matière *Laming*, composée de sulfate de fer, de chaux éteinte et de sciure de bois. Ces substances sont destinées à retenir l'anhydride carbonique et l'hydrogène sulfuré.

Le gaz passe dans le scrubber, où il se lave et se refroidit au contact d'eau ruisselant sur des morceaux de coke métallurgique (plus poreux et moins friable que le coke d'usine à gaz) d'un diamètre de 6 à 10 centimètres. Comme le montre la figure 62, l'appareil est divisé en deux parties séparées par une grille. Le gaz

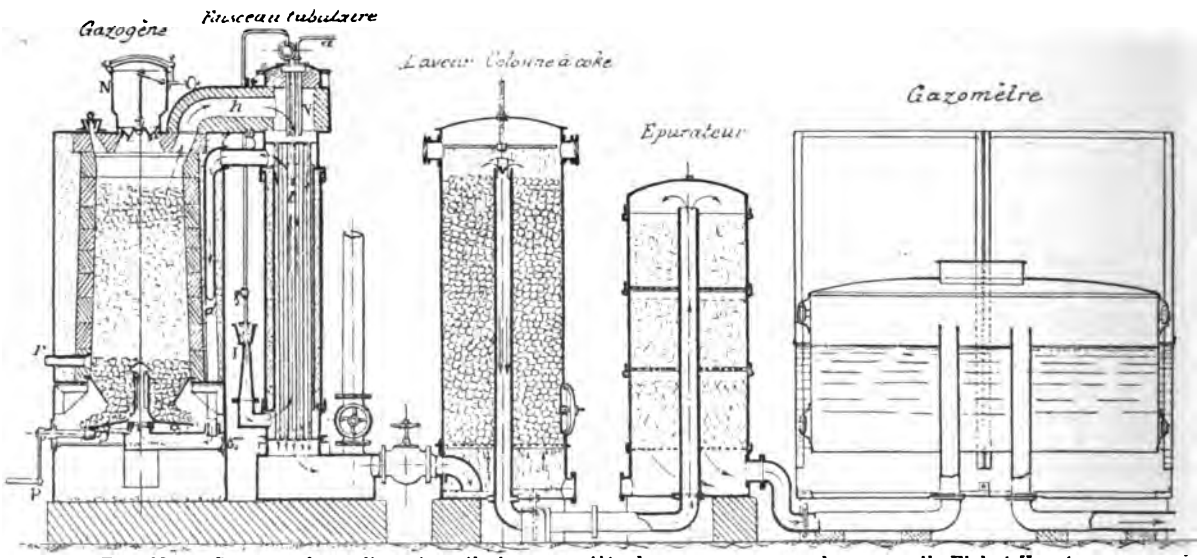


Fig. 63. — Coupe en long d'une installation complète de gaz pauvre avec les appareils Fichet-Heurtey.

a, Arrivée de vapeur; — *d*, Arrivée du mélange d'air et de vapeur surchauffée; — I, Injecteur; — P, Manivelle pour la rotation de la grille; — *r*, Regard pour surveiller la zone de combustion; — *t*, Tubes verticaux autour desquels circulent de bas en haut les gaz chauds sortant de la cuve en *h* et dans lesquels remonte le mélange d'air et de vapeur surchauffée; — V, Tuyaux de réchauffage de la vapeur.

arrive dans le compartiment inférieur, soit au-dessus de la nappe d'eau, soit par un coude

Digitized by Google

plongeant légèrement dans celle-ci (*fig.* 63) et jouant le rôle de joint hydraulique. Il est utile de ménager une chicane devant la sortie du gaz (*fig.* 62 et 63) pour réduire les entraînements d'eau dans les conduites. Des ouvertures à joints hermétiques sont disposées soit pour permettre le nettoyage de l'orifice du tuyau d'amenée du gaz, soit pour l'inspection et le nettoyage de l'arrivée de l'eau et de la sortie du gaz.

21. Gazogène soufflé à injecteur Fichet et Heurtey. — Gazogène soufflé Letombe. — La figure 63 représente un autre mode d'installation de gazogène soufflé à injecteur, du type *Fichet et Heurtey*. Nous avons déjà rencontré plus haut (*fig.* 45) un type d'installation dû à *M. Letombe*.

II

LES GAZOGÈNES A ASPIRATION

1. Reproches faits aux gazogènes soufflés. — Les gazogènes avec soufflage à vapeur ou soufflage mécanique sont susceptibles de donner lieu à des fuites de gaz toxiques ; de plus, ils présentent une certaine complication résultant soit de l'emploi d'une chaudière et d'un injecteur, soit d'appareils mécaniques de soufflage. Par cela même, ils sont d'un prix assez élevé et présentent un certain encombrement.

2. Emploi des gazogènes à aspiration. — Aussi, dans le but de simplifier les installations à gaz pauvre, préfère-t-on actuellement les *gazogènes à aspiration* pour l'alimentation des moteurs de faible et de moyenne puissance.

Dans ces appareils, la vitesse du piston moteur provoque l'entrée de l'air et de la vapeur d'eau au travers de la charge de combustible. Le robinet à gaz du moteur est donc relié à la prise de gaz du gazogène par la simple interposition des appareils laveurs et épurateurs ; le gazomètre est supprimé.

3. Autorégulation de la teneur en vapeur d'eau du mélange gazeux fourni au gazogène. — *La vapeur est toujours produite par la chaleur dégagée soit par les gaz chauds sortant du gazogène, soit directement par le rayonnement même de la cuve.* Grâce à ce dispositif, il doit se produire ici une sorte d'autorégulation augmentant la teneur en vapeur d'eau du mélange gazeux appelé sur le combustible du gazogène, lorsque l'allure du gazogène devient plus chaude, et diminuant cette teneur lorsque l'allure devient plus froide. Par là même, le gaz fourni au moteur est plus riche en oxyde de carbone et en hydrogène à mesure que la charge de ce moteur augmente. En effet, dans ce cas, les appels de gaz deviennent plus fréquents, l'activité du foyer et par conséquent aussi la production de vapeur augmentent. Au contraire, si la charge du moteur diminue, l'allure du foyer se ralentit, et il en est de même de la production de vapeur.

4. Réglage de la teneur en vapeur d'eau du mélange gazeux fourni au gazogène. — Toutefois, pour rendre plus efficace cette autorégulation et surtout pour empêcher la température du gazogène de diminuer d'une trop grande quantité à mesure que

Digitized by Google

la charge du moteur diminue, *M. Deschamps* a installé sur le trajet des gaz sortant de la cuve un *régulateur thermométrique* très ingénieux qui fait varier la masse de l'eau échauffée par le rayonnement de la cuve du gazogène.

D'autres *doseurs* de la vapeur d'eau fournie au gazogène sont proposés par *M. Güldner* et par *M. Barrière;* la firme *Winterthur* a installé sur ses gazogènes un doseur spécial.

5. Inconvénients que présentent les gazogènes à aspiration. — Si les gazogènes à aspiration présentent, comme nous venons de le voir, des avantages d'*économie* et de *simplicité*, ils ont aussi des inconvénients qu'il convient de signaler.

En premier lieu, *les appareils d'épuration doivent être réduits au minimum*, afin que le moteur à gaz puisse produire dans la cuve une aspiration suffisante. Il en résulte que ces gazogènes nécessitent l'emploi de charbons de tout premier choix, donnant naissance à de minimes quantités d'hydrogène sulfuré et de matières goudronneuses.

D'autre part, *la pression à l'intérieur des appareils est inférieure à la pression atmosphérique*. Les rentrées d'air, et par suite les explosions, sont alors plus à craindreque dans les gazogènes soufflés.

La suppression du gazomètre fait qu'on ne dispose d'aucune réserve pour mettre le moteur en route; il faut tourner à la main un ventilateur pendant un temps assez long pour produire un bon gaz avant de commencer à marcher.

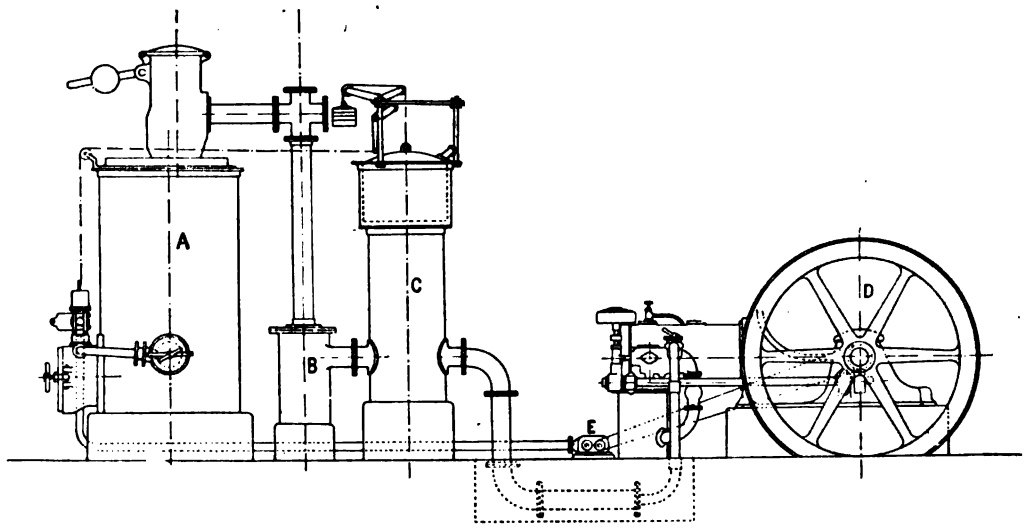


Fig. 64. — Gazogène Letombe par aspiration compensée.
A, Gazogène; — B, Barillet-laveur; — C, Compensateur; — D, Moteur; — E, Ventilateur.

6. Gazogène à aspiration compensée; marche sans pression ni dépression. — Pour éviter le grave inconvénient des rentrées d'air, certains constructeurs, parmi lesquels *M. Letombe*, s'arrangent pour avoir des conduites non pas en dépression, mais sensiblement à la pression atmosphérique, de façon qu'il n'y ait ni pertes ni rentrées d'air. C'est la marche dite *par aspiration compensée*.

L'appareil représenté sur la figure 64 est analogue à ceux des installations par aspiration simple; le gazogène est un gazogène soufflé *Letombe*, du type de la figure 45; un *régulateur-compensateur* C régularise la soufflerie du gazogène aux charges variables et évite toute dépression dans les conduites.

Digitized by Google

7. Gazogène avec exhausteur entre la cuve et le gazomètre. — Pour réunir les avantages d'économie et de simplicité que présentent les gazogènes à aspiration (suppression du souffleur à vapeur et du souffleur mécanique) avec ceux que présente l'emploi d'un gazomètre, on installe, comme nous le verrons plus loin pour les gazogènes *Otto-Deutz*, *Genty*, etc., une pompe qui aspire les gaz hors de la cuve et les refoule dans un gazomètre. Dans ce dernier appareil, la pression est légèrement supérieure à la pression atmosphérique, comme dans les gazogènes soufflés.

Nous allons maintenant étudier les divers modes de construction des gazogènes à aspiration (1).

8. Diamètre de la cuve des générateurs à la base du combustible. — Le diamètre moyen de la cuve d'un gazogène à aspiration varie avec la surface et la vitesse du piston du moteur, et jusqu'à un certain point avec la qualité et les dimensions du combustible.

L'expérience a montré que le diamètre de la cuve à la base du combustible (cône de combustion) doit être surtout considéré comme une fonction de la surface du piston et de sa vitesse. D'après *M. Mathot*, les meilleurs résultats sont obtenus quand la section normale de la base de la cuve est de 0,50 à 0,90 fois la surface du piston et même de 0,25 à 0,50 fois cette surface, suivant la nature et les dimensions du combustible. Mais ces nombres sont loin d'être admis par tous et il y a des différences assez grandes entre les indications des divers ingénieurs. Le Dr *Oscar Nagal*, de New-York, dans un article publié dans *Cassier's Magazine*, indique que la section normale de la cuve au niveau des barreaux de la grille est de 7,5 à 9 centimètres carrés pour une puissance de 1 cheval. *William-A. Tookey* indique que la pratique anglaise semble donner les résultats suivants. Un moteur à gaz de 50 chevaux au frein (diamètre du piston $= 0^{m},375$; course $= 0^{m},580$), tournant avec une vitesse linéaire moyenne du piston de $3^{m},05$ par seconde (environ 158 tours par minute), doit être alimenté par un gazogène ayant environ un diamètre de $37^{cm},5$ à la base du combustible. La règle de Mathot donne $18^{cm},75$ ou $26^{cm},25$ ou $36^{cm},25$; celle de Nagal donne de $21^{cm},25$ à $23^{cm},75$. On voit donc que l'on ne doit pas accorder une trop grande confiance aux diverses règles pratiques que nous venons d'indiquer.

9. Hauteur du charbon dans la cuve d'un gazogène. — Pour obtenir de bons résultats, il est essentiel qu'il y ait dans la cuve une hauteur suffisante de charbon incandescent, afin de produire la décomposition de l'eau et la formation d'oxyde de carbone. Mais il est inutile d'avoir une grande masse de combustible qui offrirait simplement et sans utilité une résistance au mouvement des gaz ascendants. Là encore on ne possède pas de règle précise pour la hauteur du combustible. D'après *William-A. Tookey*, une hauteur de combustible incandescent égale à 50 ou 60 centimètres est suffisante dans les gazogènes de grandeur moyenne ; dans les petits générateurs, une hauteur de 38 à 45 centimètres est convenable quand on emploie de l'anthracite dont les morceaux ont la grosseur d'une noisette. Souvent des gazogènes à aspiration, une fois bien chargés et portés à une température convenable, continuent à donner du gaz de bonne qualité, même quand la hauteur du combustible incandescent est descendue à 25 ou 30 centimètres.

(1) William-A. Tookey. *Recent developments in the construction of suction gas producers* (*Practical Engineer and Engineers' Gazette*, t. XXXIII, nos 1002, 1003, 1004, 1005, 1006, avril, mai, juin 1906).

Digitized by Google

10. Cône ou cornue de réserve et de distillation du combustible. — Pour avoir un gaz de bonne qualité et de composition aussi constante que possible, il est nécessaire que la hauteur du charbon incandescent varie très peu. Aussi est-il bon, dans la pratique, d'avoir à l'intérieur du générateur et au-dessus du combustible incandescent une réserve de combustible chaud. Pendant son échauffement, ce combustible laisse dégager les matières goudronneuses qu'il contient et qui viennent brûler au contact du combustible incandescent, sans polluer les gaz produits. Cette réserve de combustible est contenue à l'intérieur d'un cône ou cornue chauffé par les gaz produits par le générateur. On rencontre un tel cône dans un grand nombre de gazogènes, tels que les gazogènes *Kynoch* (*fig.* 46), *Hindley* (*fig.* 53), *Taylor* (*fig.* 55), etc. Dans le gazogène *Genty* (*fig.* 70), pendant que le combustible séjourne dans la cornue *r* et sur le cône *s*, il est fortement chauffé par le gaz qui se dégage sous le cône *s*, traverse les conduits *t* et circule autour de la cornue *r*.

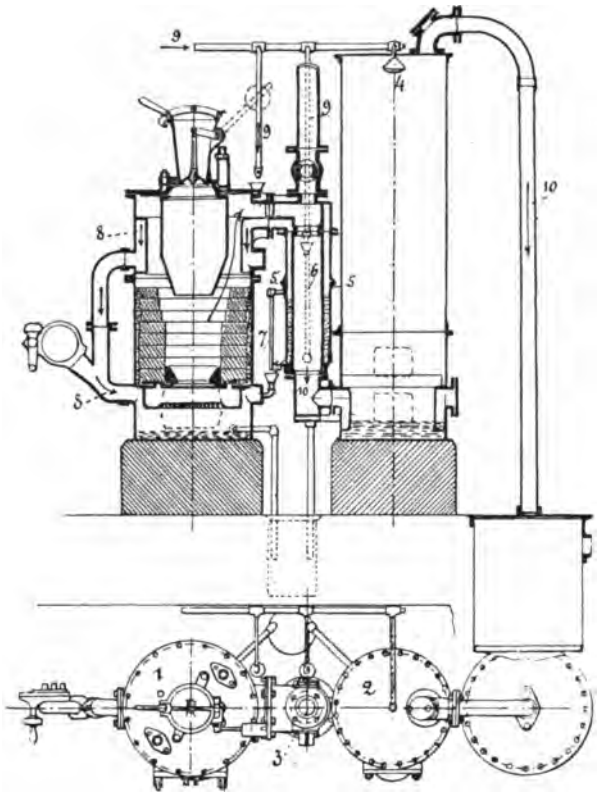


Fig. 65. — Gazogène Dudbridge.

1, Générateur; — 2, Scrubber; — 3, Conduite des gaz et chaudière; — 4, Pomme d'arrosage du scrubber; — 5, Arrivée d'air; — 6, Ajutage amenant l'eau autour du tuyau d'échappement des gaz; — 7, Tuyau d'amenée dans le cendrier de l'eau chauffée par le tuyau d'échappement; — 8, Air et vapeur; — 9, Tuyau d'amenée d'eau; — 10, Gaz produit.

11. Base sur laquelle repose le combustible. — L'étude des divers gazogènes montre que, chez les constructeurs, il y a des opinions très différentes en ce qui concerne la nature de la base sur laquelle repose le combustible. La majorité des constructeurs emploient des barreaux de grille disposés de telle manière qu'on puisse facilement les changer sans toucher à la garniture intérieure du générateur. L'inconvénient de l'emploi des barreaux de grille vient de ce que, sous l'influence des températures élevées, les barreaux se tordent et se brûlent. Pour obvier à cet inconvénient et conserver plus longtemps les barreaux de grille, certains constructeurs projettent de l'eau dans le cendrier (gazogène *Dudbridge*, *fig.* 65).

D'autres générateurs n'ont pas de grille (gazogène *Pierson*, *fig.* 52). Dans le dernier type de gazogène construit par la maison *Pierson* (*fig.* 66 et 67), le feu n'est retenu que par une sole T (*fig.* 67) absolument indépendante et constituée par une pièce réfractaire plate insérée dans un socle en fonte C.

12. Inconvénients que présente l'adhérence des mâchefers. — Moyens de l'éviter. — Comme une grande quantité de mâchefers se forme à la base du générateur, quelques types présentent des dispositifs permettant de renouveler les briques réfractaires sans toucher au revêtement qui se trouve au-dessus. Le gazogène *Taylor* (*fig.* 55) porte un anneau de fer amovible, garni de briques réfractaires ; cet anneau est maintenu dans sa position par des tiges vissées qui peuvent être ajustées de la partie inférieure du gazogène.

Digitized by Google

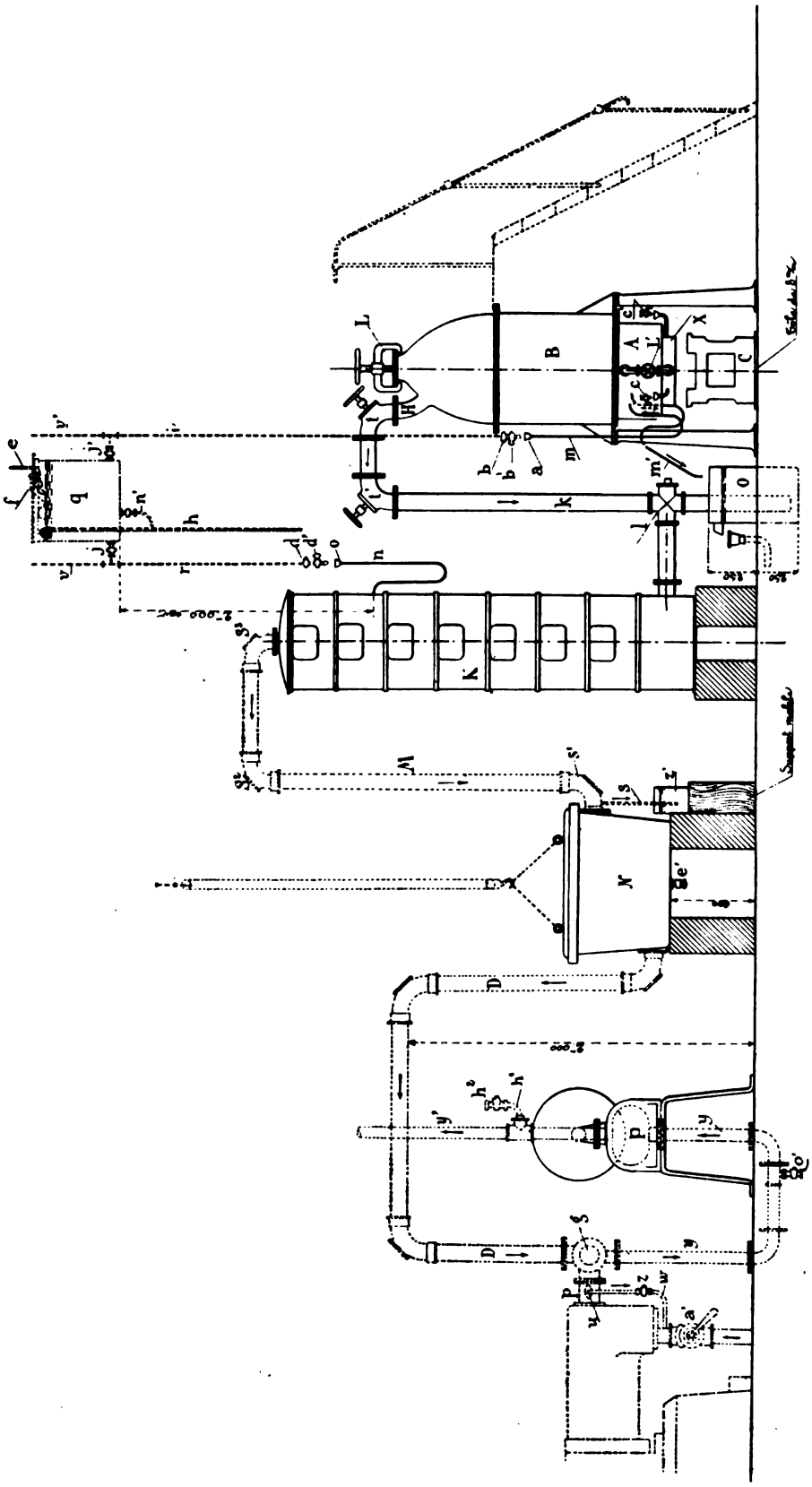


FIG. 66. — Gazogène Pierson par aspiration.

B, Corps du générateur garni intérieurement de pièces réfractaires et contenant le combustible; — A, Vaporisateur; il constitue le foyer; aucune garniture réfractaire n'existe dans cette partie; l'eau qui s'y trouve l'empêche d'être détériorée par la chaleur; — C, Socle en fonte supportant la sole réfractaire retenant le feu; — *e*, Entonnoir dans lequel tombe l'eau provenant du réservoir *g* par le robinet *f*; le tuyau *r* et les robinets *b* et *b'*; — *m*, Tuyau d'alimentation du vaporisateur; — *m*, Tuyau servant à laisser écouler l'eau en excès, de façon à avoir toujours un niveau constant dans le vaporisateur; — X, Pièce en fonte chambrée intérieurement afin de permettre l'introduction méthodique de la vapeur dans le foyer incandescent; — L, Tuyau de vapeur amenant la vapeur du vaporisateur dans la chambre X; ce tuyau est muni d'un robinet de réglage; — *c*, *c'*, Robinets permettant d'adjoindre de l'eau dans la chambre X; — L, Tubulure de chargement; — H, Tuyau de sortie du gaz du générateur B; — *t*, *t'*, Tampons pour le ramonnage au moyen d'une brosse métallique; — O, Siphon; — *l*, Tubulure horizontale dirigeant le gaz dans le bas du condenseur-laveur; — K, Condenseur-laveur à étages et éléments démontables; — *o*, Entonnoir dans lequel tombe l'eau provenant du réservoir *g* par le robinet *j*, le tuyau *r* et les robinets *d* et *d'*; cette eau arrose tous les éléments du condenseur K, sauf les deux éléments supérieurs; — M, Tuyau de sortie du gaz venant du condenseur-laveur; — S1, S2, S3, Tampons pour le ramonnage du tuyau M au moyen d'une brosse métallique; — S, Tuyau de dégagement du gaz au travers de l'eau du vase Z'; ce tuyau sert de soupape de sûreté au cas où une surpression se produirait dans l'appareil; — N, Épurateur à oxyde de fer; — *e'*, Robinet de purge; — D, Tuyau de sortie du gaz de l'épurateur; — *g*, Robinet à trois voies permettant de diriger le gaz au moteur ou au ventilateur P; — *y*, Tuyau allant au ventilateur P; — P, Ventilateur mû à la main pour l'allumage; — *y*, Tuyau d'échappement du gaz à l'air pendant l'allumage; — *o'*, Robinet de purge; — *pww*, Tuyau amenant le gaz au moteur au travers du robinet de réglage *z*; — *a*, Robinet d'amenée de l'air au moteur; — *q*, Réservoir d'eau pour l'alimentation du vaporisateur et du condenseur-laveur; — *e*, Tuyau d'amenée de l'eau au réservoir *g*; — *f*, Robinet avec régulateur d'ouverture et de fermeture; — *h*, Tuyau de trop-plein et de vidange du réservoir *g* par l'intermédiaire du robinet *n'*.

Digitized by Google

Dans quelques gazogènes, on évite l'adhérence des mâchefers au point le plus chaud en descendant suffisamment la grille au-dessous du revêtement réfractaire. Tel est le cas

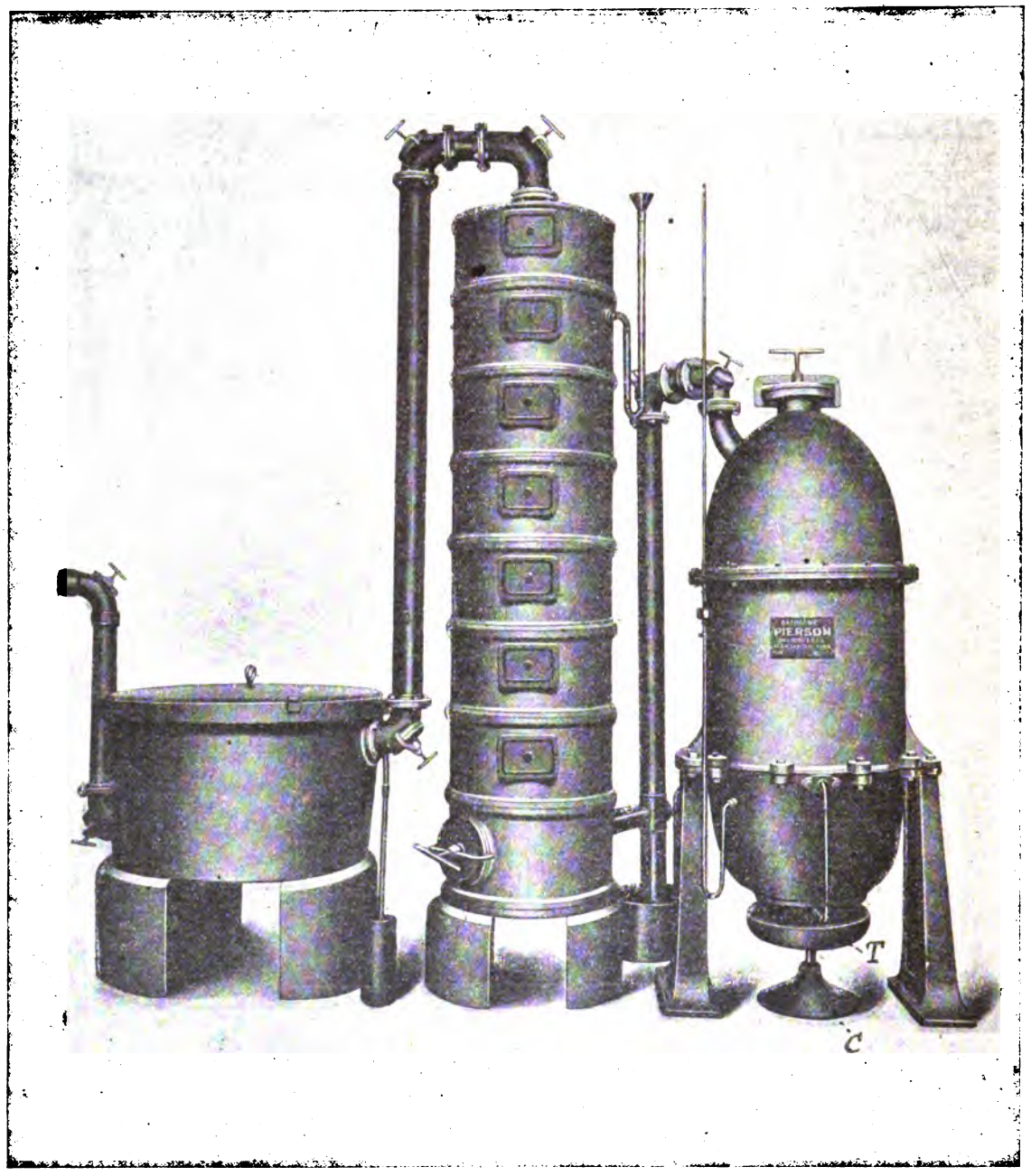


Fig. 67. — Vue d'ensemble d'un gazogène Pierson par aspiration.
T, Sole indépendante retenant le feu et constituée par une pièce réfractaire plate insérée dans le socle en fonte C.

des générateurs *Crossley et Rigby* (*fig.* 68), *Dudbridge* (*fig.* 65), *Tangye* (*fig.* 69), *Hindley* (*fig.* 53), etc.

Enfin, dans d'autres gazogènes tels que les gazogènes *Pierson* (*fig.* 43, et gazogène nouveau modèle, *fig.* 66 et 67), le foyer proprement dit est constitué par le vaporisateur fixé sous le corps de la cuve (*fig.* 66, vaporisateur A sous le corps B) ; aucune garniture réfractaire

Digitized by Google

n'existe dans cette partie, l'eau qui s'y trouve l'empêchant d'être détériorée par la chaleur. Plusieurs avantages découlent de ce dispositif simple. L'absence de maçonnerie dans la partie la plus chaude de l'appareil évite le remplacement fréquent des pièces réfractaires exposées à une très haute température. Dans certains gazogènes, ces pièces sont parfois détruites après un mois de marche. Or leur remplacement entraîne un arrêt assez long, car il faut laisser sécher le coulis réfractaire.

13. Sortie des gaz du générateur. — Dans la plupart des gazogènes à aspiration, les gaz qui ont traversé la masse du combustible sont forcés, avant d'être évacués du générateur et de passer aux appareils de refroidissement et de lavage, de se réunir dans la partie supérieure du générateur et de circuler autour du cône de distillation. Tel est le cas du gazogène *Genty* (*fig.* 70 et 71), du gazogène *Dudbridge* (*fig.* 65), du gazogène *Kynoch* (*fig.* 46), etc... Le conduit de sortie des gaz est souvent placé à une grande distance au-dessus de la surface supérieure du combustible distillant dans la cuve ; on a ainsi à l'intérieur de la cuve une grande quantité de charbon qui distille graduellement.

Dans un grand nombre de types de gazogènes, les gaz produits circulent au-dessous et autour d'une chaudière destinée à fournir l'eau qui doit être mélangée à l'air et envoyée sur le combustible incandescent. On rencontre de telles chaudières dans les gazogènes *Genty* (*fig.* 70 et 71), *Crossley et Rigby* (*fig.* 68), *Hindley* (*fig.* 53). Dans le gazogène *Griffin* (*fig.* 49), on augmente la surface de chauffe de la chaudière en laissant vide de charbon l'espace 6 entouré par les parois de cette chaudière ; la vaporisation est ainsi plus active. Dans le gazogène de la *Mersey Engine Works C°* (*fig.* 72), l'eau arrivant en 2 traverse un serpentin placé à la partie supérieure du gazogène dans les gaz chauds produits ; elle s'y échauffe et s'y vaporise en partie.

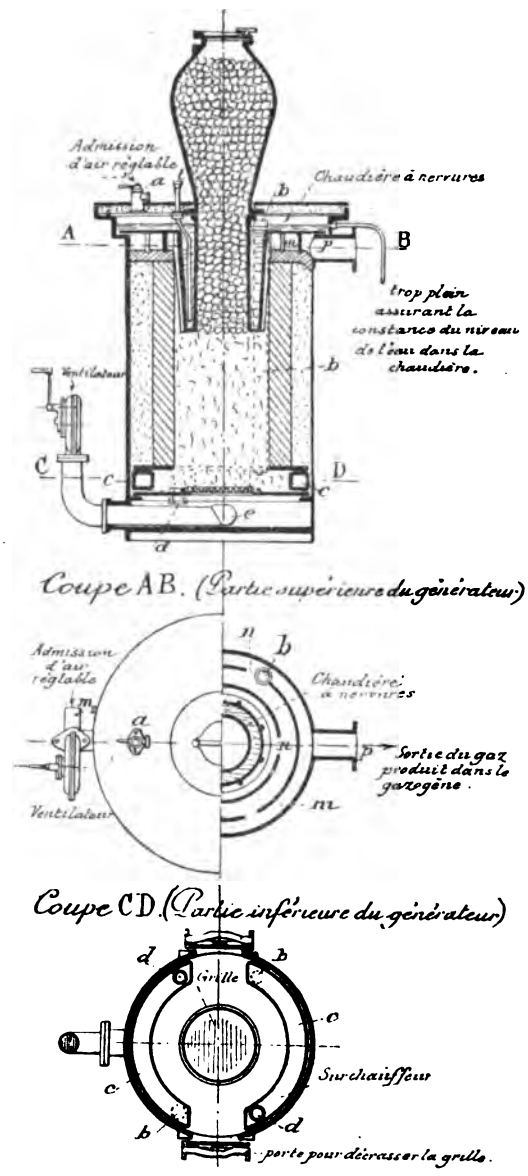


FIG. 68. — Gazogène Crossley et Rigby.

t, Tuyau amenant l'eau ; le mélange d'air et de vapeur formé dans la chaudière à nervures se rend par les tuyaux *b* dans le surchauffeur *c* disposé autour de la grille. Il va de là, par les tuyaux *d*, se mélanger sous la grille à l'air aspiré directement dans l'atmosphère par *e* et par l'orifice réglable m_2.

Pour activer la production de la vapeur dès la mise en train du gazogène, *M. Daniels* fait (*fig.* 73) passer les gaz de 2 au scrubber par une chambre 3, au-dessous de la grille ; sur la paroi *a* de cette chambre, on projette de l'eau en 4. La paroi *a*, chauffée par le gaz et le rayonnement de la grille, produit immédiatement de la vapeur dans le cendrier 5, où l'air est aspiré, par le cylindre même du moteur, au travers d'une ouverture réglable par un clapet 8.

Digitized by Google

14. Trémies de chargement. — La trémie de chargement doit être l'objet d'une attention particulière; elle doit être parfaitement étanche, afin de prévenir les rentrées d'air. En vue de la sécurité surtout, on doit préconiser les dispositifs à double fermeture, constituant une sorte d'antichambre grâce à laquelle le chargement du générateur se fait en deux opérations.

La première implique le remplissage de l'antichambre après l'ouverture de l'obturateur extérieur; celui-ci étant fermé, la seconde opération consiste à faire tomber dans le générateur, par la manœuvre de l'obturateur intérieur, le combustible ainsi emmagasiné.

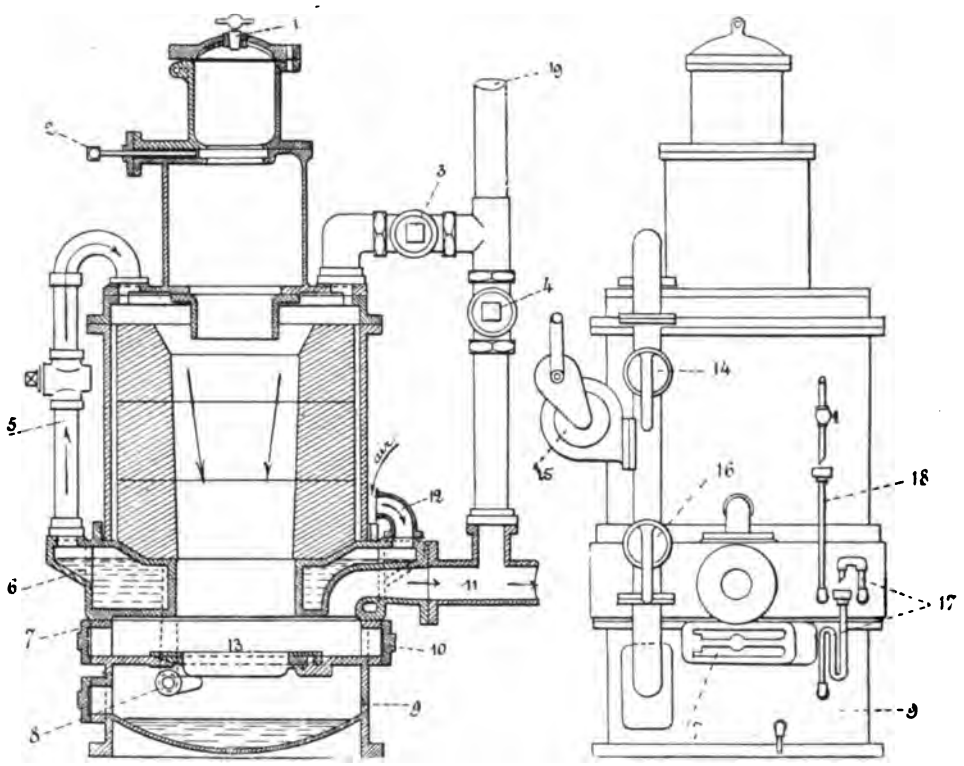


FIG. 69. — Gazogène Tangye.

1, Trou pour le tisonnage; — 2, Tiroir mettant la trémie en communication avec la cuve du gazogène; — 3, Robinet ouvert pendant la mise en marche; — 4, Robinet devant être fermé lors de la mise en marche; — 5, Tuyau d'amenée à la partie supérieure du gazogène du mélange d'air et de vapeur d'eau; — 6, Chaudière; — 7, Regard pour le décrassage; — 8, Levier permettant de remuer la grille; — 9, Cendrier avec couche d'eau; — 10, Regard pour le décrassage; — 11, Sortie des gaz; — 12, Arrivée d'air; — 13, Grille; — 14, Robinet devant être fermé lors de la mise en marche; — 15, Ventilateur; — 16, Robinet ouvert pendant la mise en marche; — 17, Trop-plein de la chaudière amenant l'eau au cendrier; — 18, Alimentation en eau de la chaudière; — 19, Evacuation des gaz pendant la mise en marche.

Pour cet obturateur intérieur, on emploie trois types de fermeture.

1° Le *clapet*, disque conique ou en forme de calotte sphérique, se manœuvrant généralement de haut en bas au moyen d'un levier muni d'un contrepoids [générateurs *Guilbaud* (*fig.* 47), *Genty* (*fig.* 70 et 71), *Hindley* (*fig.* 53), *Dudbridge* (*fig.* 65), etc...].

2° Le *tiroir*, plaque métallique dressée, mobile au-dessous de la boîte de chargement proprement dite.

Cette plaque mobile peut pivoter autour d'un axe vertical dans un plan horizontal au moyen d'un levier (gazogène *Delion et Lepeu*, *fig.* 74). Elle peut basculer autour d'un axe horizontal dans un plan vertical (gazogène *Taylor*, *fig.* 55). Enfin elle peut être constituée par une plaque mobile entre deux glissières. La glissière du gazogène *Tangye* (*fig.* 69) est mise en mouvement au moyen d'une poignée à T. Il est certainement possible de construire la glissière de manière que le fonctionnement se fasse sans qu'il y ait de fuites d'air. Mais,

Digitized by Google

même en opérant avec soin, il est parfois impossible d'éviter la présence d'un morceau de charbon entre les rainures fixes et l'extrémité du volet glissant.

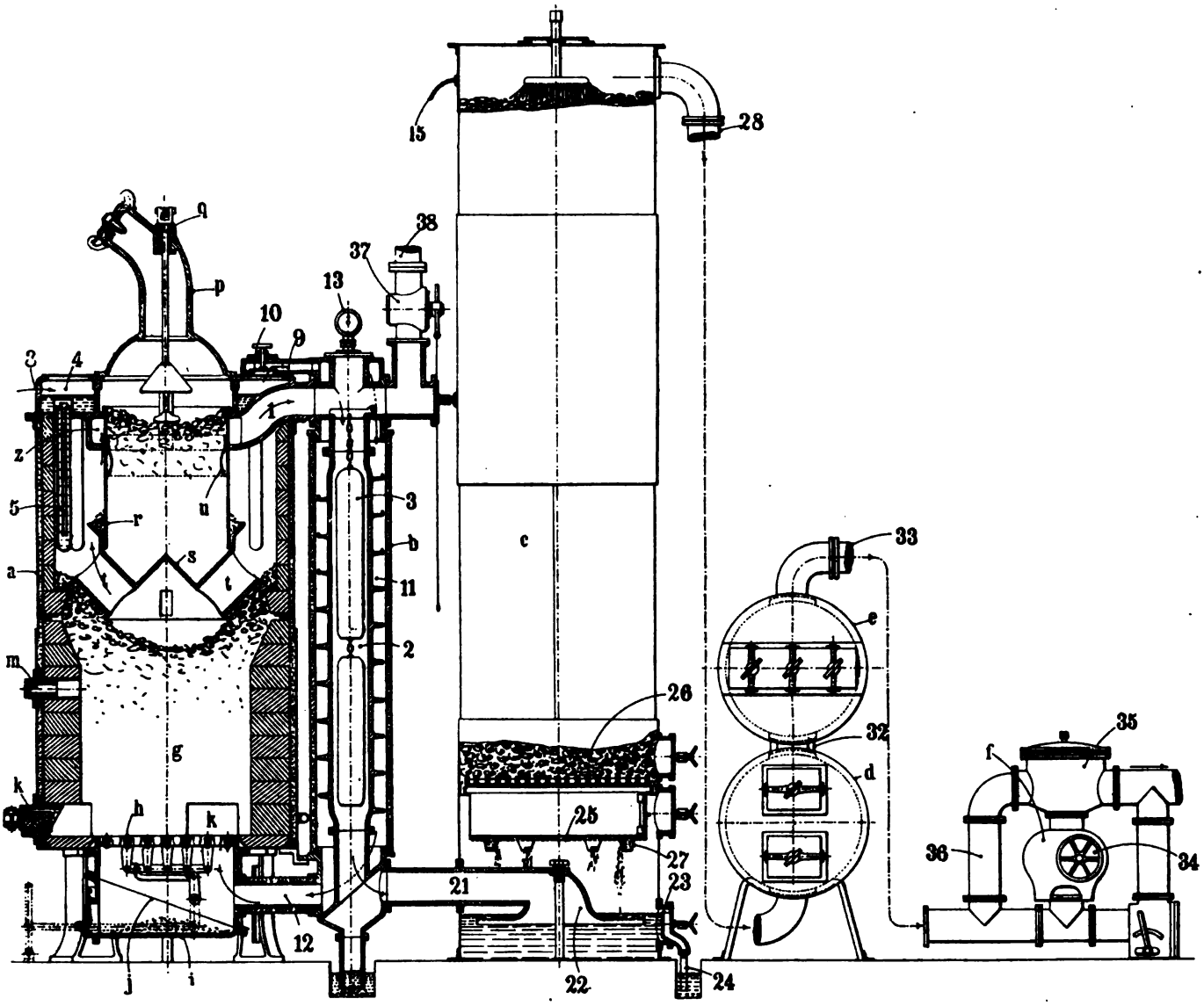


Fig. 70. — Gazogène Genty par aspiration.

a, Gazogène; — *g*, Cuve; — *h*, Grille à barreaux dentés articulés; — *i*, Cendrier suspendu facilement démontable par suite du joint oblique *j*; — *k*, Portes de décrassage; — *m*, Regards placés à diverses hauteurs pour le piquage du feu; — *p*, Trémie; — *r*, Cornue métallique disposée au-dessus du cône déflecteur *s*; - *t*, Conduits par lesquels le gaz se dégage vers le haut de l'appareil; — *z*, Collecteur annulaire enveloppant le haut de la cornue; — 1, Tuyau de sortie des gaz du générateur; — *b*, Récupérateur; — 2, Tube intérieur dans lequel circulent les gaz sortant du générateur; — 3, Cylindres métalliques suspendus à l'intérieur du tuyau 2 et formant volant de chaleur; — 4, Chaudière annulaire pourvue de tubes à circulation d'eau 5 plongeant à l'intérieur du gazogène autour de la cornue *r*; — 8, Orifices d'entrée de l'air au-dessus de la chaudière 4; — 9, Conduit dans lequel se rend le mélange d'air et de vapeur après avoir traversé la soupape 10; — 10, Soupape maintenue ouverte pendant la marche normale du gazogène; — 11, Conduit en hélice formant la partie extérieure du récupérateur: le mélange d'air et de vapeur se chauffe au contact des parois du tube 2; — 12, Conduit par lequel le mélange d'air et de vapeur arrive dans le cendrier; — 13, Thermomètre mesurant la température du gaz à la sortie du gazogène; — 21, Conduit de sortie des gaz hors du récupérateur; — 22, Cloche; — 23, Déversoir; — 24, Sortie de l'eau ayant servi au lavage des gaz; — 25, Panier de tamisage, dans lequel s'écoule l'eau de la colonne à coke; — 26, Colonne à coke; — 27, Godets déversoirs jouant le rôle de siphons; — 28, Conduit de sortie des gaz du scrubber; — *d*, Epurateur à paille de fer; — 32, Conduit reliant *d* et *e*; — *e*, Epurateur à mousse végétale; — *f*, Soufflerie; — 33, Conduit reliant les épurateurs *d* et *e* à la soufflerie *f*; — 34, Ventilateur de la soufflerie; — 35 et 36, Valve et conduit permettant de retourner dans la canalisation 33 le volume de gaz qui n'est pas demandé par les appareils d'utilisation; — 37 et 38, Robinet et tuyau de communication à l'air libre.

Le tiroir présente d'ailleurs un avantage sur le clapet; un ringard peut être enfoncé par le haut du générateur en ligne droite jusqu'à la grille. Avec les clapets, il est nécessaire de prévoir au moins un trou de ringardage sur le côté de l'enveloppe du générateur au-

Digitized by Google

dessous de la trémie d'alimentation ; à moins d'avoir prévu un ou plusieurs trous tout autour du générateur dans la position que nous venons d'indiquer, un très léger ringardage est seul possible.

3° Le *robinet*, grand cône en fonte muni d'une clé de manœuvre et percé d'un orifice ; le cône se meut dans un boisseau formé par la boîte de chargement [générateurs *Otto-Deutz* (*fig.* 75), de la *Mersey Engine Works C°* (*fig.* 72), générateur *Pierson* (*fig.* 52)].

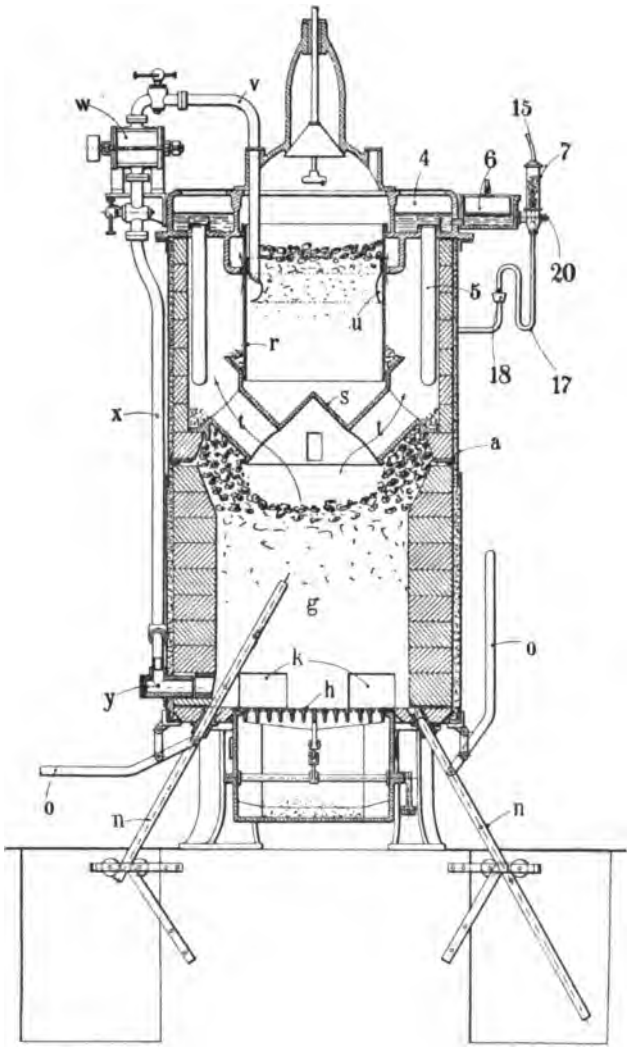


Fig. 71. — Gazogène Genty. — Coupe transversale du gazogène.
h, Grille à barreaux dentés articulés ; — *k*, Portes de décrassage ; — *n*, Ringards obliques pénétrant dans la cuve par la partie inférieure du gazogène ; ces ringards sont mus par des leviers *o* ; — *r*, Cornue dans laquelle séjourne le combustible ; — *s*, Cône ; — *t*, Conduits dans lesquels circule le gaz ; — *g*, Cuve ; — *u*, Collecteur des produits de distillation du charbon placé dans la cornue *r* ; — *v*, Tuyau d'aspiration dans le collecteur *u* ; — *w*, Ventilateur aspirant les produits de distillation par le tuyau *v* et les refoulant par le tuyau *x* dans la tuyère *y* débouchant à la partie inférieure de la cuve *g* au-dessus de la grille ; — 4, Chaudière annulaire avec tubes 5 à circulation d'eau ; — 6, Réservoir à niveau constant à flotteur alimentant la chaudière 4 et le régulateur 7 de débit d'eau pour vaporisation supplémentaire ; — 20, Robinet à pointeau ; — 17, Siphon ; — 18, Entonnoir.

Dans un certain nombre de gazogènes, on fait en sorte qu'il y ait dans le haut du générateur assez de combustible pour une marche continue de dix à douze heures ; dans ces appareils, on ne fait pas de chargements pendant la marche.

Le nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66 et 67) appartient à ce type de générateurs.

La non-existence de la trémie de chargement entraîne la suppression des fuites. D'autre part, il n'y a pas d'introduction de combustible froid dans le foyer incandescent. Cette introduction amène toujours momentanément, à moins de précautions spéciales, une notable chute dans la température, produit une mauvaise carburation et un ralentissement du moteur. Dans de nombreux gazogènes, on diminue d'ailleurs ce refroidissement au moyen de cornues de distillation maintenant à la partie supérieure du générateur une grande masse de combustible chaud (gazogène *Crossley et Rigby*, *fig.* 68).

Au lieu du chargement à la main, on préfère, dans le *Griffin* (*fig.* 49), faire un chargement automatique au moyen d'un robinet tournant. Dans le gazogène *Guilbaud* (*fig.* 47), le chargement est effectué au moyen d'une vis, comme nous l'avons décrit plus haut.

Quelques constructeurs serrent fortement sur son siège le couvercle extérieur de la trémie au moyen d'un étrier et d'une vis de pression ; d'autres admettent qu'un bon joint est réalisé par le poids seul du couvercle.

Digitized by Google

15. Cendriers secs et cendriers avec couche d'eau. — Lorsque le gazogène possède une grille, il y a avantage à employer un cendrier avec une couche d'eau susceptible de produire un courant ascendant de vapeur qui abaisse la température de la grille. Cette vapeur est produite par le rayonnement de la grille et par les cendres chaudes qui tombent dans l'eau. Les gazogènes *Tangye* (*fig.* 69), *Hindley* (*fig.* 53), *Dudbridge* (*fig.* 65) présentent un tel cendrier.

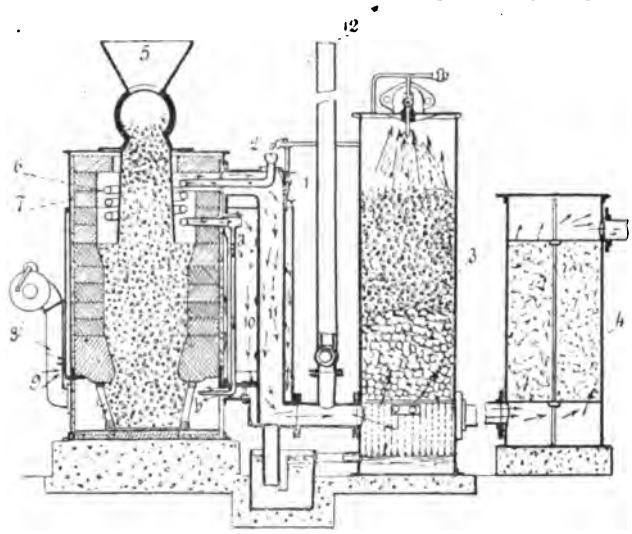


Fig. 72. — Gazogène de la *Mersey Engine Works C°*.

1, Alimentation d'eau autour du tuyau de conduite des gaz allant au scrubber; — 2, Alimentation d'eau dans le serpentin placé à la partie supérieure de la cuve du gazogène: — *ab*. Tuyau amenant au cendrier l'eau chaude non vaporisée dans le serpentin placé dans la cuve; — 3, Scrubber; — 4, Sécheur à sciure de bois; — 5, Robinet de la trémie; — 6, Serpentin alimenté d'eau en 2; — 7, Chemise pour l'échauffement de l'air envoyé au foyer; — 8, Ventilateur de mise en marche; — 9, Arrivée d'air; — 10, Arrivée d'air et de vapeur d'eau; — 11, Sortie des gaz produits; — 12, Tuyau d'échappement à l'air pendant la mise en marche.

L'absence de grilles permet toutefois de porter l'air à une température plus élevée et de donner à la vapeur un degré plus grand de surchauffe; la base du feu peut être alors maintenue à une plus haute température, ce qui est une condition de bonne marche d'un gazogène. Aussi ce mode de construction se rencontre-t-il dans un grand nombre de gazogènes. Citons, par exemple, le nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66 et 67), le gazogène *Delion et Lepeu* (*fig.* 74).

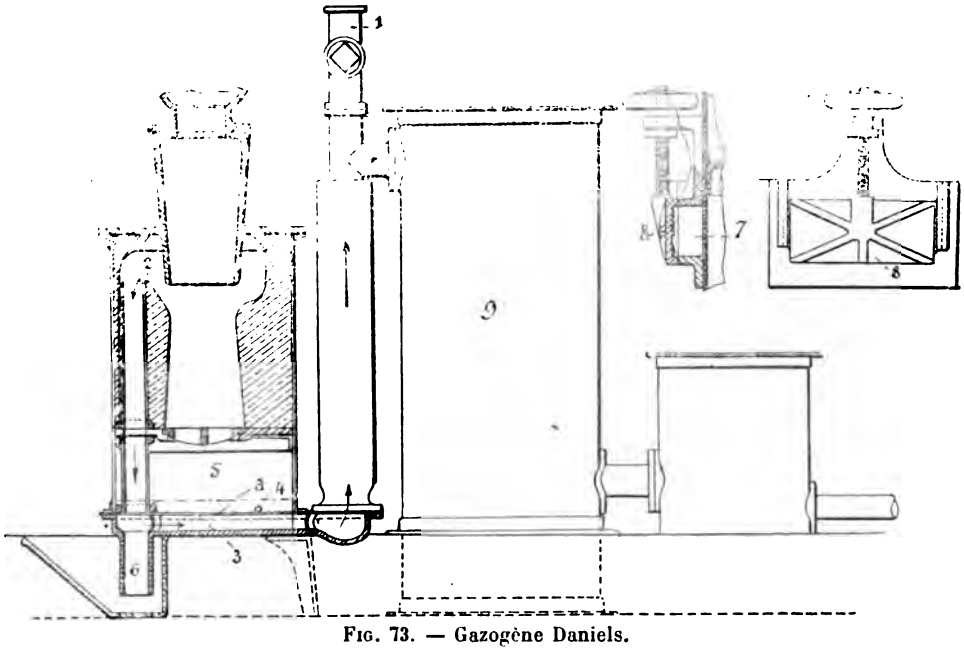


Fig. 73. — Gazogène Daniels.

1, Cheminée d'évacuation des gaz lors de la mise en marche; — 2, Sortie des gaz de la cuve; — 3, Chambre limitée par la paroi *a*; — 4, Injection d'eau sur la paroi *a* chauffée par le rayonnement de la grille et par les gaz du gazogène; — 5, Cendrier; — 6, Joint hydraulique pour recueillir les cendres entraînées par les gaz; — 7, Arrivée d'air; — 8, Ouverture réglable de l'arrivée d'air; — 9, Scrubber.

Le gazogène de la *Mersey Engine Works C°* (*fig.* 72), dans lequel on fait arriver en *b* l'eau chaude qui n'a pas été vaporisée dans le serpentin plongé dans la cuve, présente à la

Digitized by Google

fois quelques-uns des avantages des cendriers secs et des cendriers avec couche d'eau.

Pour les petits gazogènes, on emploie ordinairement des cendriers humides en fonte pour

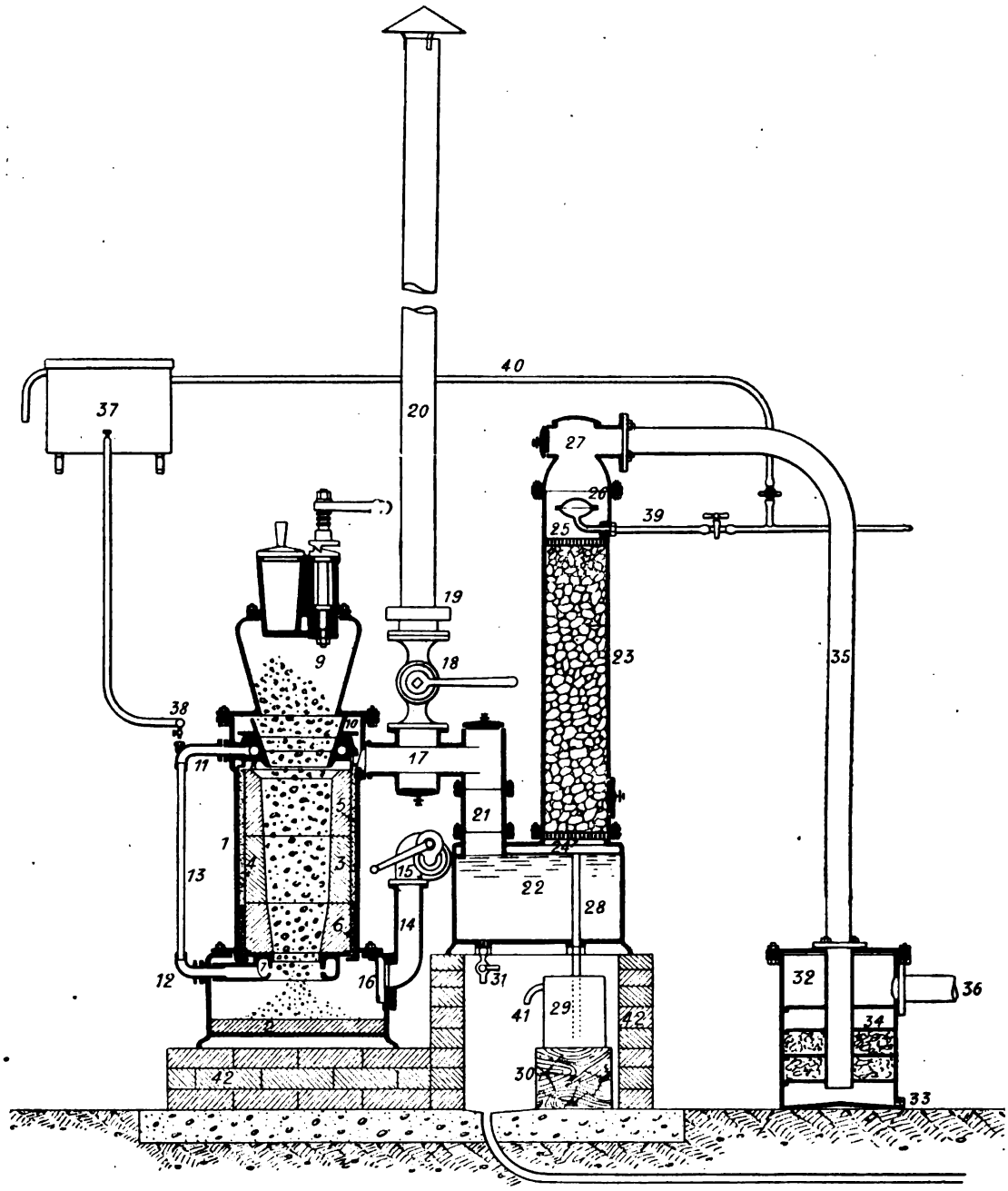


FIG. 74. — Gazogène Delion et Lepeu.

1, Corps du gazogène; — 2, Garniture réfractaire de la sole; — 3, Terres réfractaires du foyer; — 4, Enveloppe de tôle des deux terres supérieures; — 5, Sable; — 6, Laine minérale; — 7, Vaporisateur inférieur; — 8, Vaporisateur supérieur; — 9, Cône de chargement avec trémie; — 10, Collerette du cône de chargement; — 11, Raccord supérieur du vaporisateur; — 12, Raccord inférieur du vaporisateur; — 13, Tube de raccordement; — 14, Support du ventilateur; — 15, Ventilateur; — 16, Brise-vent de la soufflerie; — 17, Boîte à fumée et tampon de nettoyage; — 18, Robinet de cheminée d'allumage; — 19, Support de cheminée; — 20, Cheminée d'allumage; — 21, Tubulure raccordant la boîte à fumée au barboteur; — 22, Barboteur avec tampon autoclave; — 23, Colonne à coke avec tampon autoclave; — 24, Grille inférieure; — 25, Grille supérieure; — 26, Arroseur; — 27, Chapeau du laveur; — 28, Tube-siphon d'évacuation d'eau; — 29, Pot de garde d'eau; — 30, Support du pot de garde; — 31, Robinet de vidange; — 32, Pot de détente; — 33, Purge du pot; — 34, Disques et copeaux d'épuration; — 35, Tuyau de raccordement du laveur au pot; — 36, Tuyau d'aspiration du moteur; — 37, Réservoir d'eau d'alimentation des vaporisateurs muni d'un flotteur et trop-plein; — 38, Robinets de réglage; — 39, Tuyau d'arrivée d'eau à l'arroseur; — 40, Tuyau d'arrivée d'eau au réservoir à flotteur; — 41, Décharge d'eau au pot de garde à l'égout; — 42, Maçonnerie en briques, supports de l'appareil.

résister à la corrosion et pour éviter les fuites par les joints, fuites qui sont dues aux défauts de rivetage des plaques dans les générateurs avec cendriers en fer forgé.

Digitized by Google

16. Gazogènes à foyers fermés. Gazogènes à foyers ouverts. — Dans les gazogènes où le foyer est fermé par une porte, la vapeur est mélangée à l'air avant d'entrer dans le foyer et arrive généralement dans ce foyer par une tuyère. Dès qu'une porte est ouverte pour les besoins du ringardage, l'air arrive seul par cette porte; la vapeur n'est plus aspirée, aucune dépression n'existant plus dans la tuyère; la composition du gaz change et le moteur ralentit ou s'arrête, s'il est très chargé. Il en résulte qu'un gazogène non ouvert pas le bas ne peut bien marcher qu'à la condition d'employer des combustibles pratiquement exempts de cendre.

Toutefois l'inconvénient que nous venons de signaler ne se présente pas avec les gazogènes de la *Mersey Engine Works C°* (*fig.* 72). L'alimentation d'eau par le serpentin 6 et le tuyau *ab* permet de décrasser la grille toutes portes ouvertes sans danger de détériorer le gaz fabriqué; il en est ainsi à cause de la vapeur qui se produit alors par la vaporisation de l'eau tombant dans le cendrier, vapeur qui est entraînée au gazogène avec le surplus d'air admis par ces portes.

Dans les gazogènes à foyer ouvert [nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66 et 67), gazogène *Delion et Lepeu* (*fig.* 74)], la vapeur est produite et surchauffée à la base du feu; à chaque pulsation produite par le moteur, la vapeur surchauffée entre dans le foyer en même temps que l'air, mais *indépendamment de lui*. Le fait de ringarder le feu n'influe en rien sur l'introduction régulière de cette vapeur, et la qualité du gaz ne change pas durant cette opération.

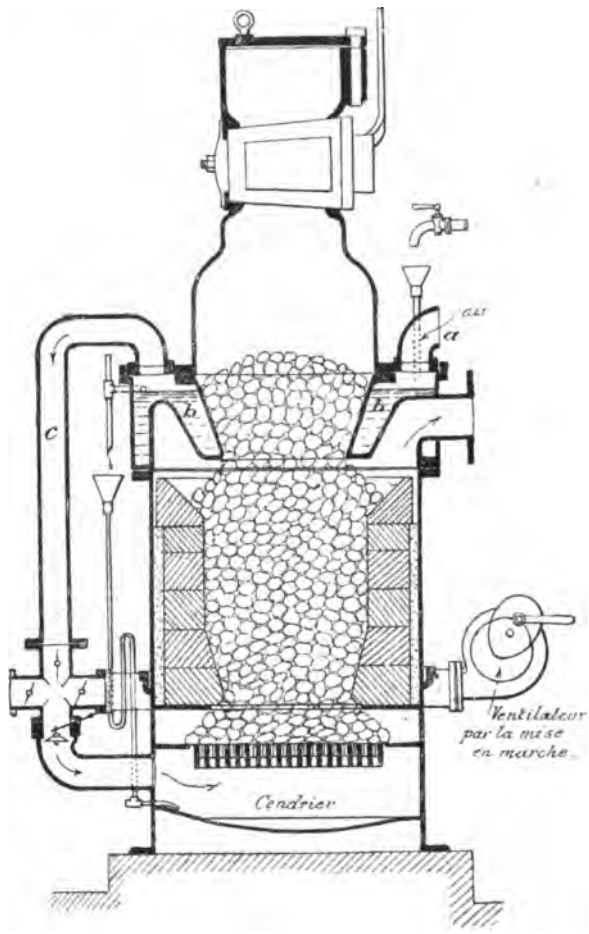


FIG. 75. — Générateur Otto-Deutz.

17. Dispositifs pour enlever les mâchefers et ringarder. — Afin d'assurer la continuité des opérations pour des périodes assez étendues, il est absolument nécessaire d'enlever les cendres et les mâchefers qui peuvent se former à la base du feu.

On peut enlever les cendres tombant au travers des barreaux de la grille au moyen d'une porte placée au-dessous du niveau de cette grille. Des portes de décrassage situées au-dessus de la grille (gazogène *Genty*, *fig.* 70 et 71) permettent l'enlèvement des mâchefers.

Dans le nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66 et 67), ouvert à sa partie inférieure, le feu n'est retenu que par une sole T, absolument indépendante et constituée par une pierre réfractaire plate insérée dans un socle en fonte C. Entre le bas du vaporisateur A et la sole T, il y a un espace suffisant pour piquer le feu pendant la marche, ainsi que pour retirer les cendres et les mâchefers produits. Ce dispositif permet l'emploi de combustibles à forte teneur en cendres, tels que le coke d'usine à gaz.

Digitized by Google

Il convient de rapprocher de ce dispositif celui qui est adopté dans divers gazogènes, notamment dans les gazogènes *Crossley et Rigby* (*fig.* 68), *Hindley* (*fig.* 53). Au lieu de prolonger le revêtement réfractaire vers le bas immédiatement jusqu'au-dessus de la grille, on ménage un espace entre les barreaux de cette grille et la première rangée de briques.

Dans certains gazogènes à grille, des moyens spéciaux sont employés pour empêcher l'accumulation des cendres et nettoyer le feu. Par exemple, les grilles portent des barreaux amovibles ou des barreaux pouvant tourner; dans d'autres cas, la grille tout entière peut tourner (gazogène *Davey-Paxman*, *fig.* 76) ou peut être secouée (gazogène *Tangye*, *fig.* 69).

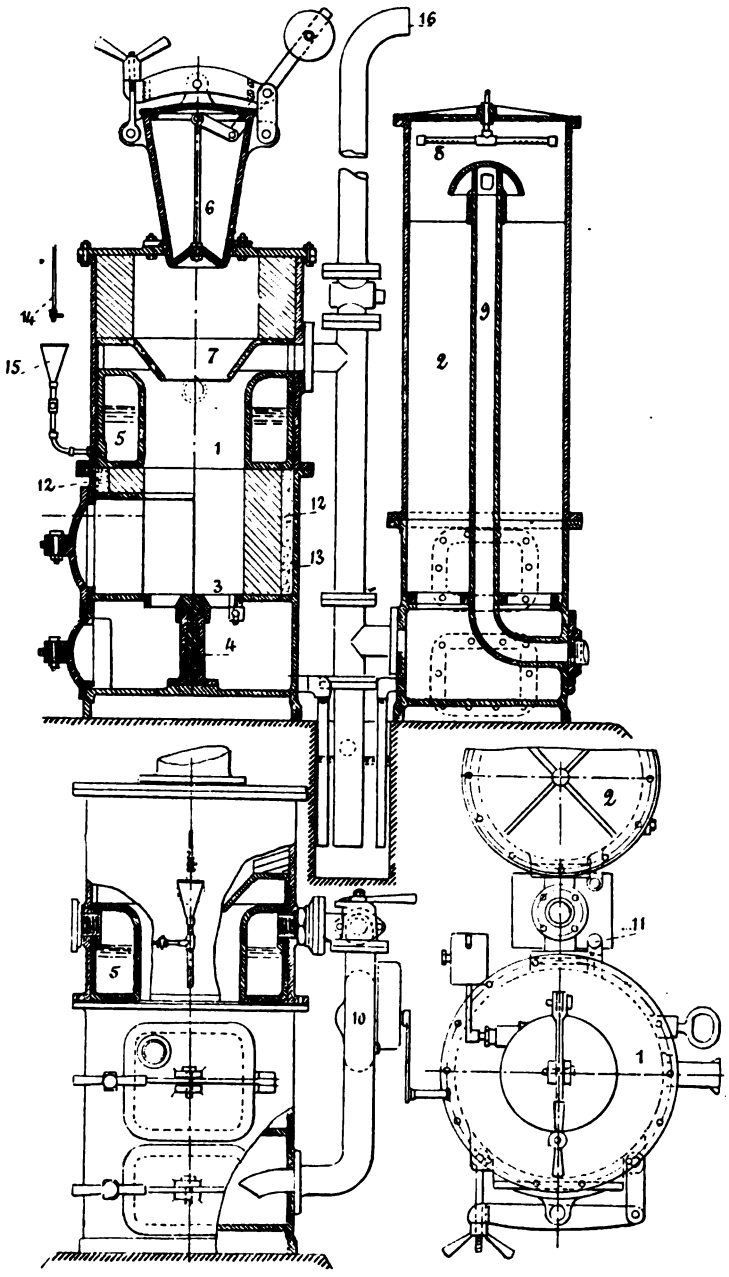


Fig. 76. — Gazogène Davey-Paxman.

1, Cuve du gazogène; — 2, Scrubber; — 3, Grille montée sur pivot que l'on peut faire osciller de l'extérieur; — 4, Pivot de la grille; — 5, Chaudière en fonte; l'air passe sur l'eau contenue dans la chaudière; — 6, Trémie à clapet; — 7, Cône guidant le combustible au centre du gazogène; — 8, Arrosoir pour le scrubber; — 9, Conduite de gaz à l'intérieur du scrubber; — 10, Ventilateur de mise en marche; — 11, Entonnoir pour l'alimentation d'eau de la chaudière 5; — 12, 12, Sable; — 13, Fonte; — 14, Eau; — 15, Alimentation d'eau de la chaudière 5; — 16, Tuyau de tirage de la mise en marche.

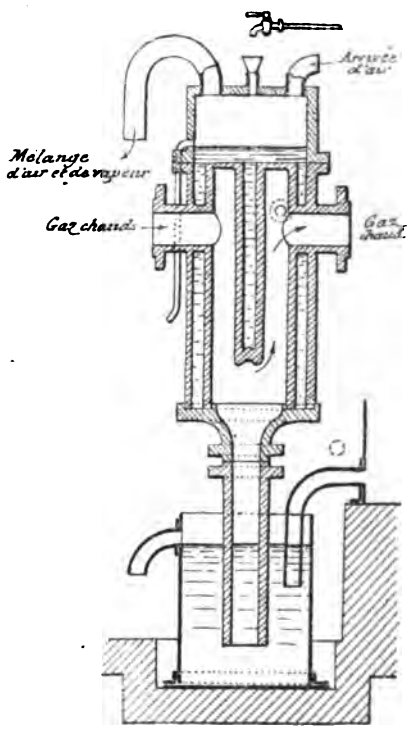


Fig. 77. — Vaporisateur Wiedenfeld.

Des regards sont parfois établis dans les portes du foyer (gazogène *Tangye*, *fig.* 69) ou tout autour du générateur [gazogène *Griffin* (*fig.* 49), gazogène *Genty* (*fig.* 70 et 71)], de manière à pouvoir se rendre compte de l'état intérieur du feu. Les trous des portes du foyer sont aussi fréquemment

Digitized by Google

employés pour permettre de remuer les cendres et les mâchefers sans créer de sérieuses perturbations dans la marche normale du gazogène.

18. Production de la vapeur. — Au point de vue de la production de la vapeur, on peut diviser les générateurs en deux catégories.

1° *Les générateurs dits à vaporisation intérieure ;*

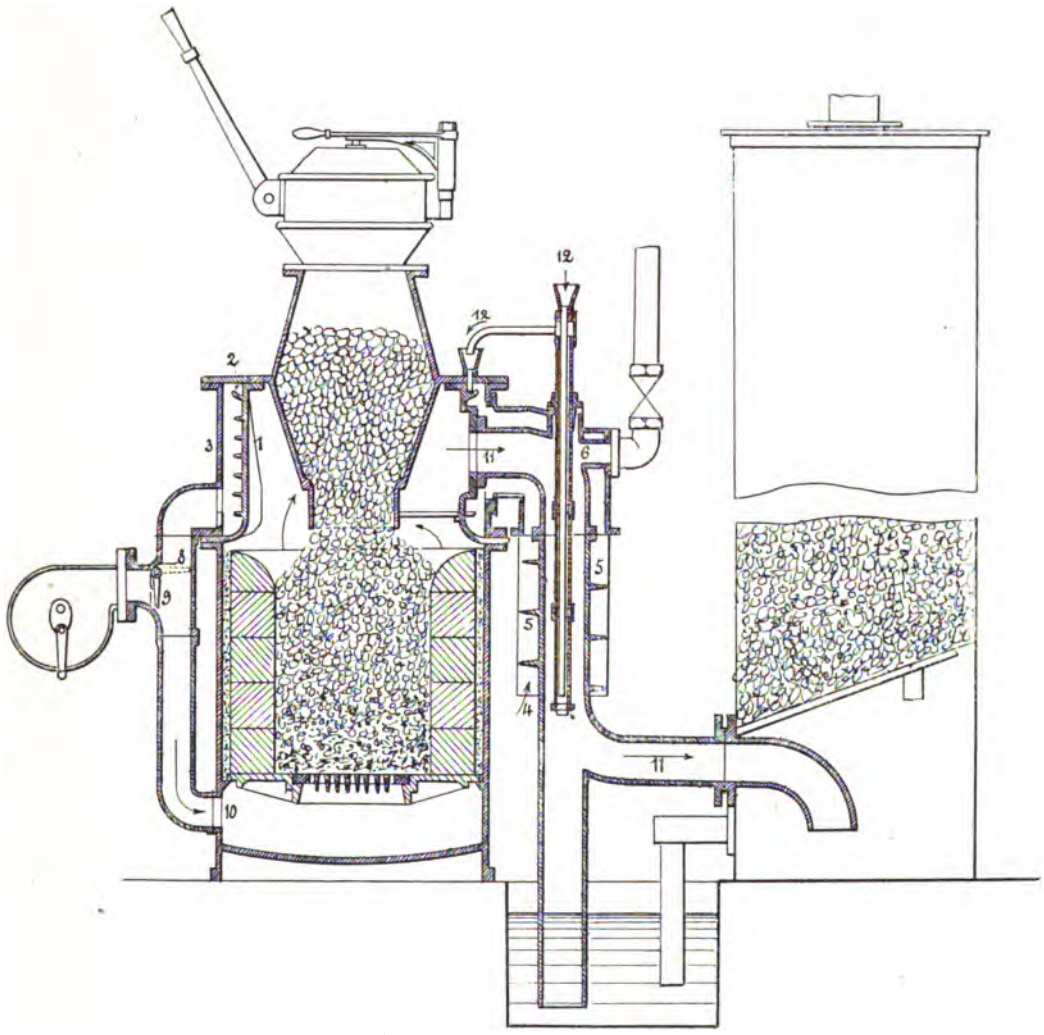


FIG. 78. — Gazogène à aspiration de la *National Gas Engine C°*.

1, Cylindre à hélices (2) réchauffé par les gaz produits ; — 3, Enveloppe ; — 4, Entrée de l'air ; — 5, 5, Ailettes chauffées par les gaz ; — 6, Tuyau chauffé par les gaz ; on amène l'eau à la partie inférieure pour la réchauffer ; — 7, Tubulure d'amenée au foyer du mélange d'air et de vapeur ; — 8, Palette, position en pointillé pendant la mise en train ; — 9, Palette, position normale sur la figure ; — 10, Arrivée d'air et de vapeur ; — 11, 11, Sortie des gaz produits ; — 12, 12, Eau.

2° Les générateurs dans lesquels le *vaporisateur est une chaudière à tubes de fumée*, c'est-à-dire dans lesquels l'eau est vaporisée au contact de tubes chauffés par les gaz sortant du générateur (*générateurs à vaporisateur extérieur*).

19. Générateurs à vaporisateur extérieur. — Chaudières à tubes de feu et chaudières à tubes d'eau. — Dans les *gazogènes à vaporisateur extérieur*, le faisceau de tubes du vaporisateur peut être à *tubes de feu* (gaz passant à l'intérieur des tubes, qui baignent dans l'eau à évaporer) ou à *tubes d'eau* (eau se trouvant à l'intérieur des tubes, les gaz étant

Digitized by Google

à l'extérieur). D'une façon générale, les faisceaux tubulaires présentent l'inconvénient de s'incruster rapidement par les sels calcaires que contient l'eau. Avec les faisceaux composés de tubes de feu, les incrustations se produisent sur la surface extérieure des tubes, c'est-à-dire dans une partie inaccessible pour le nettoyage. Les faisceaux à tubes d'eau présentent de leur côté l'inconvénient de se couvrir de goudron et de suie à l'extérieur. Il convient de proscrire dans ces vaporisateurs l'emploi de tubes en cuivre ou en laiton rapidement corrodés sous l'action de l'ammoniaque et de l'hydrogène sulfuré contenus dans les gaz.

Les vaporisateurs tubulaires à tubes de feu se subdivisent eux-mêmes en *vaporisateurs à grande masse d'eau* et en *vaporisateurs à gouttes d'eau*. Dans les premiers, une grande masse d'eau entoure les tubes chauffés par les gaz; dans les seconds, on fait arriver l'eau en un mince filet sur la surface des mêmes tubes. Parmi les vaporisateurs tubulaires à tubes de feu et à grande masse d'eau, il faut citer ceux des gazogènes *Taylor* (*fig.* 55), *Pintsch* (*fig.* 91). Au nombre des vaporisateurs tubulaires à tubes de feu alimentés par un filet d'eau, il convient de citer celui du gazogène *Kynoch* (*fig.* 46).

Parmi les vaporisateurs à tubes d'eau, il convient de citer celui du gazogène *Catier* (*fig.* 54). Le vaporisateur *Wiedenfeld* (*fig.* 77) est un type spécial de vaporisateur à tubes d'eau.

Dans le gazogène de la *National Gas Engine C°* (*fig.* 78), l'eau arrive en 12 et s'échauffe en remontant entre les parois d'un tube extérieur chauffé par les gaz sortant du gazogène et les parois du tube intérieur par lequel elle arrive.

20. Générateurs à vaporisateur intérieur. — Les vaporisateurs intérieurs se subdivisent en *vaporisateurs à grande masse d'eau* et *vaporisateurs à gouttes d'eau*.

Les vaporisateurs à grande masse d'eau sont tantôt placés à la partie *supérieure* du gazogène où ils sont échauffés par les gaz produits, tantôt disposés à la partie *inférieure* autour du foyer, tantôt enfin disposés à la fois à la partie supérieure du gazogène et à la partie inférieure autour du foyer (gazogène *Delion et Lepeu*, *fig.* 74).

Les gazogènes *Griffin* (*fig.* 49), *Grice* (*fig.* 51), *Hindley* (*fig.* 53), *Fétu-Defize* (*fig.* 56), *Crossley et Rigby* (*fig.* 68), *Genty* (*fig.* 70 et 71), *Otto-Deutz* (*fig.* 75), *Davey-Paxman* (*fig.* 76) ont un vaporisateur à grande masse d'eau placé à la partie supérieure du gazogène.

Les gazogènes *Pierson* (*fig.* 52 et 66), *Tangye* (*fig.* 69) sont disposés de manière à avoir le vaporisateur autour du foyer.

Dans les vaporisateurs à gouttes d'eau, l'eau arrive en mince filet, soit sur une paroi chauffée par les gaz à la partie supérieure du gazogène (générateur de la *National Gas Engine C°*, *fig.* 78), soit à l'intérieur d'un serpentin chauffé par ces mêmes gaz (gazogène de la *Mersey Engine Works C°*, *fig.* 72).

21. Gazogènes dans lesquels l'air est humidifié sans l'emploi d'un vaporisateur. — Enfin, dans le gazogène *Fielding* (*fig.* 79), l'air, qui s'est réchauffé en B dans une chambre chauffée par les gaz produits dans le générateur, entraîne de l'eau qui coule en E avant d'arriver à la grille tournante D. Comme on le voit sur les figures 80 et 81, l'eau réglable en D tombe, par le tuyau E, en un jet C qui passe presque entièrement en F dans l'atmosphère, tant que le moteur n'aspire pas d'air de A en B. Mais, dès que cette aspiration se produit, le jet C est, comme l'indique la figure 81, dévié dans le courant de cette aspiration.

22. Régulation de l'alimentation en eau des vaporisateurs. — Il est très important d'alimenter le vaporisateur d'un gazogène au moyen d'eau arrivant d'une manière

Digitized by Google

continue et à une pression constante. Un service d'eau sur lequel on ne peut pas compter est une source d'ennuis pour le mécanicien; quand le travail doit être uniforme, l'arrivée d'une trop grande quantité d'eau diminue la masse de vapeur produite, tandis qu'une diminution de l'alimentation accroît d'une manière anormale la vaporisation; on peut craindre

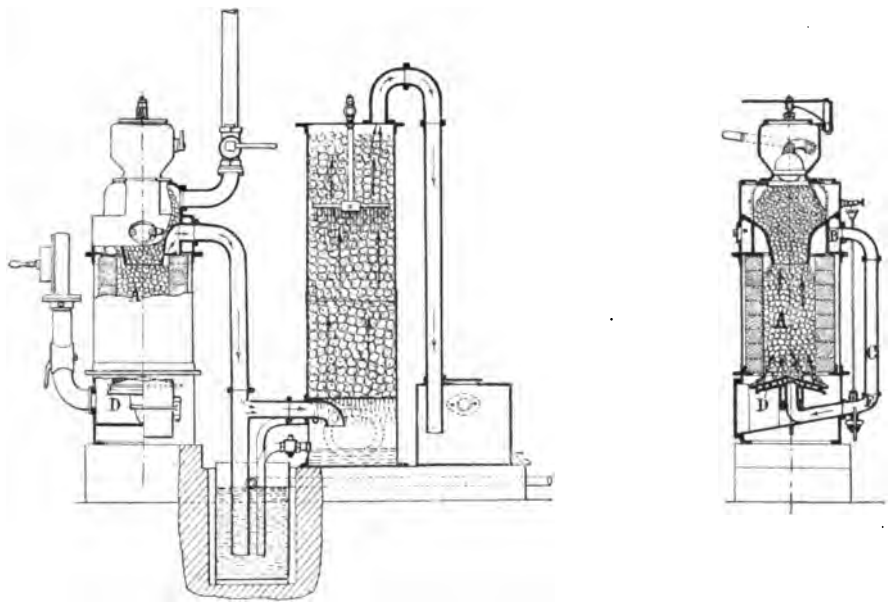


Fig. 79. — Gazogène Fielding et Platt.

alors de détériorer la chaudière, quand l'alimentation devient trop faible pour remplacer l'eau évaporée. Dans un grand nombre d'installations, il n'est pas rare de relever des irrégularités dans le fonctionnement, quand la canalisation d'eau qui alimente le vaporisateur sert à divers usages. Il est bon alors d'avoir un petit bac d'alimentation relié à une canalisation d'eau par une soupape ou un robinet à flotteur capable de s'ouvrir ou de se fermer lorsque le niveau de l'eau varie dans de certaines limites. Le nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66) présente un tel réservoir d'alimentation *g*. L'eau arrive de la canalisation par le tuyau *e* fermé par un robinet *f* commandé par un flotteur.

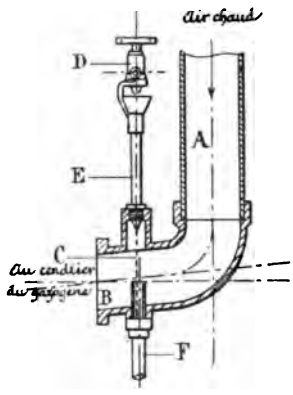


Fig. 80. — Gazogène Fielding.

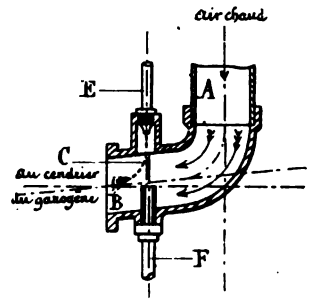


Fig. 81. — Gazogène Fielding.

Un grand nombre de vaporisateurs et particulièrement les vaporisateurs à grande masse d'eau sont desservis par des canalisations d'eau réglables à la main. Les vaporisateurs à gouttes d'eau, dans lesquels l'eau est vaporisée au fur et à mesure de l'alimentation, présentent souvent des doseurs automatiques de l'eau ou des appareils d'alimentation automatiques.

23. Doseurs automatiques de l'eau d'alimentation dans les vaporisateurs à vaporisation instantanée. — L'appareil *Güldner*, installé sur les gazogènes de la Société *Güldner*, *de Münich*, appartient à ce type de doseurs.

Digitized by Google

Dans un récipient d'eau *a* (*fig.* 82), où le niveau est maintenu constant par un trop-plein, plonge un tube *b*, qui est percé de quelques trous placés au-dessous du niveau constant de l'eau. Dans ce tuyau s'en trouve un second *c*, percé également de trous placés au-dessus des premiers et du niveau constant de l'eau dans le vase *a*. Ce dernier tube *c* est en communication par *d* avec le canal *e* par lequel arrive l'air. Quand la machine aspire, l'eau monte dans le tube *b*, vient passer par les trous du tube *c* et tombe en gouttes dans le canal par lequel arrive l'air destiné au gazogène. Le débit de l'eau est fonction de la hauteur de l'eau en *a*, de la hauteur et de la section des trous *c* et de l'intensité de l'aspiration. On peut d'ailleurs régler l'appareil à la main en tournant le chapeau *f*; celui-ci porte une rainure *g* en communication avec l'extérieur; plus cette rainure est largement ouverte, plus il peut par là arriver d'air dans le tube *b* et plus l'intensité de l'aspiration est faible.

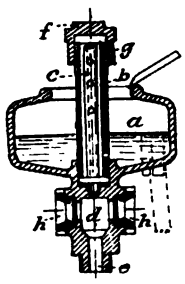


Fig. 82. Doseur Güldner.

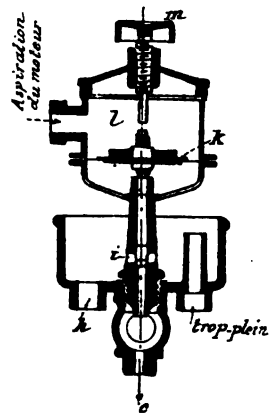


Fig. 83. — Doseur Winterthur.

Le doseur *Winterthur* est représenté sur la figure 83. L'eau arrive en *h* dans un récipient muni d'un trop-plein; une soupape *i* permet par *c* la communication de ce récipient avec l'adduction d'air chaud au gazogène. Cette soupape *i* est solidaire d'un diaphragme

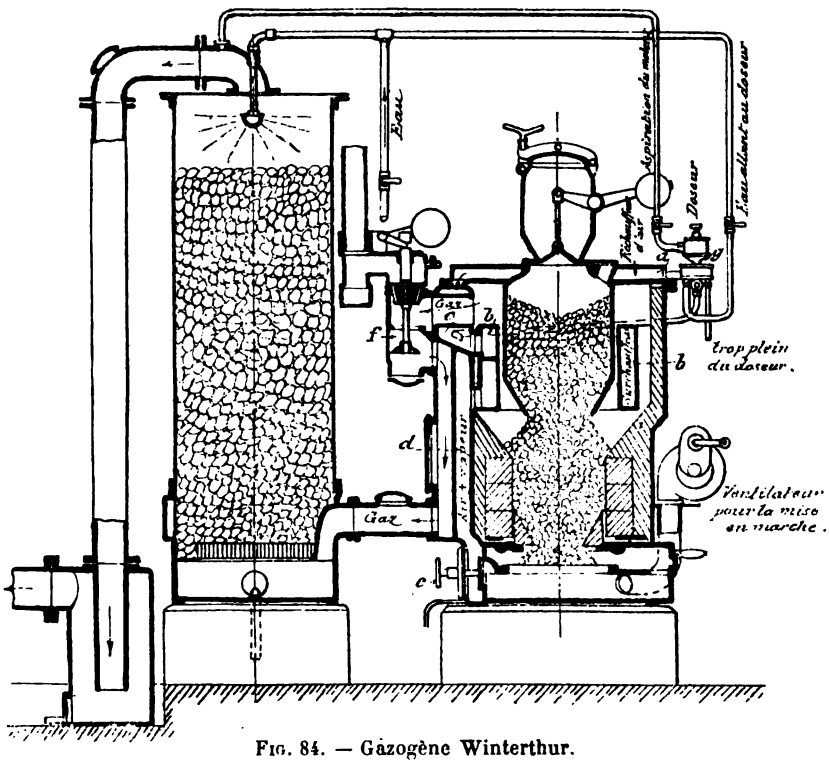


Fig. 84. — Gazogène Winterthur.

flexible *k* qui forme le fond de la boîte *l* en relation avec l'aspiration du moteur; les déplacements de ce diaphragme sont d'ailleurs limités au moyen de la vis *m*. Suivant l'intensité de l'aspiration du moteur, le diaphragme *k* se soulève plus ou moins et ouvre de quantités variables la soupape *i*.

Digitized by Google

On voit ce *doseur* en *g* sur la figure 84, qui représente l'installation d'un générateur Winterthur accompagné de son scrubber. L'air arrive en *a* dans une cavité du couvercle supérieur du générateur ; là il se réchauffe. Il passe ensuite dans un surchauffeur annulaire *b* logé dans la cavité supérieure du générateur de manière à être entouré par les gaz produits; il rencontre l'eau arrivant du doseur *g* par le tuyau *c*. Cette eau se vaporise et le mélange d'air et de vapeur réchauffé en *d* vient alors aboutir sous la grille du générateur. Les gaz s'échappent en *f* par une soupape double qui permet soit de les envoyer dans la cheminée, soit de les conduire au scrubber.

Les doseurs d'eau sont des appareils à fonctionnement délicat qui nécessitent un parfait entretien et une certaine surveillance. Il suffit, en effet, que les eaux contiennent des impuretés pour que les orifices d'amenée d'eau s'obstruent et qu'il en résulte un arrêt de l'alimentation de cette eau. Cet arrêt a non seulement l'inconvénient d'appauvrir le gaz, mais il peut, en outre, provoquer la détérioration des grilles insuffisamment rafraîchies par l'arrivée de vapeur.

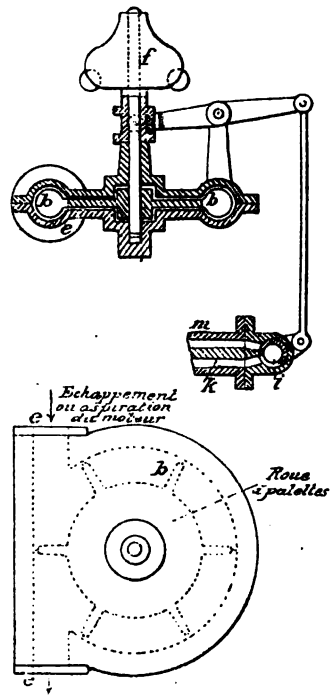


Fig. 85. — Réglage de l'alimentation en vapeur dans le générateur Delassue.

24. Réglage de l'alimentation en vapeur du générateur. — Les chaudières à grandes masses d'eau, fournissant une grande quantité de vapeur, ne sont pas très sensibles aux variations de la demande par le moteur à gaz. Il est souvent nécessaire d'avoir un appareil régulateur de la quantité de vapeur mélangée à l'air, quand le moteur est soumis à des variations de charge rapides.

Signalons quelques-uns de ces régulateurs.

Le réglage de la vapeur en fonction de la charge du moteur se fait, dans le gazogène *Delassue* (*fig.* 85), en commandant le robinet *i*, qui amène la vapeur de la chaudière à la grille par *km*, au moyen d'un régulateur *f* actionné par la roue à palettes *bb*, mise en communication par *e* avec l'échappement ou l'aspiration du moteur; de cette manière, cette roue tourne d'autant plus vite que le moteur a moins de passages à vide ou travaille davantage.

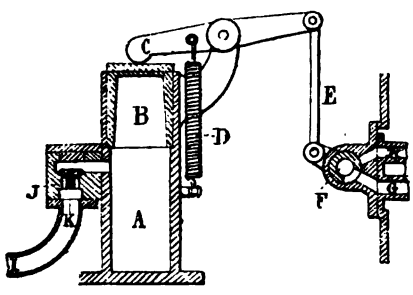


Fig. 86. — Réglage Barrière de l'alimentation en vapeur d'un générateur.

M. Barrière utilise aussi directement les variations produites dans le régime de l'échappement du moteur par les variations de charge pour régler la teneur en vapeur d'eau du mélange d'air et de vapeur d'eau aspirée dans le gazogène. Dans son dispositif, représenté sur la figure 86, la vapeur suit, pour arriver au gazogène, le trajet GFH, au travers du robinet F, que le levier C rappelé par le ressort D ouvre plus ou moins suivant la position du piston B, dont le cylindre A communique par IJ avec le pot d'échappement du moteur.

A chaque échappement, la soupape J se lève pour laisser entrer du gaz d'échappement en A, puis une partie de ce gaz revient au pot d'échappement par le canal K de J pendant les autres périodes du cycle du moteur ; la section de ce canal est telle qu'en marche nor-

Digitized by Google

male sans passages à vide, la pression en A se maintient sensiblement égale à celle du pot d'échappement et telle que le robinet F soit ouvert en grand.

Dès, au contraire, que la charge du moteur diminue et qu'il se produit des passages à vide, cette pression baisse, le piston B descend et ferme plus ou moins le robinet F en réduisant d'autant l'admission de vapeur d'eau au gazogène.

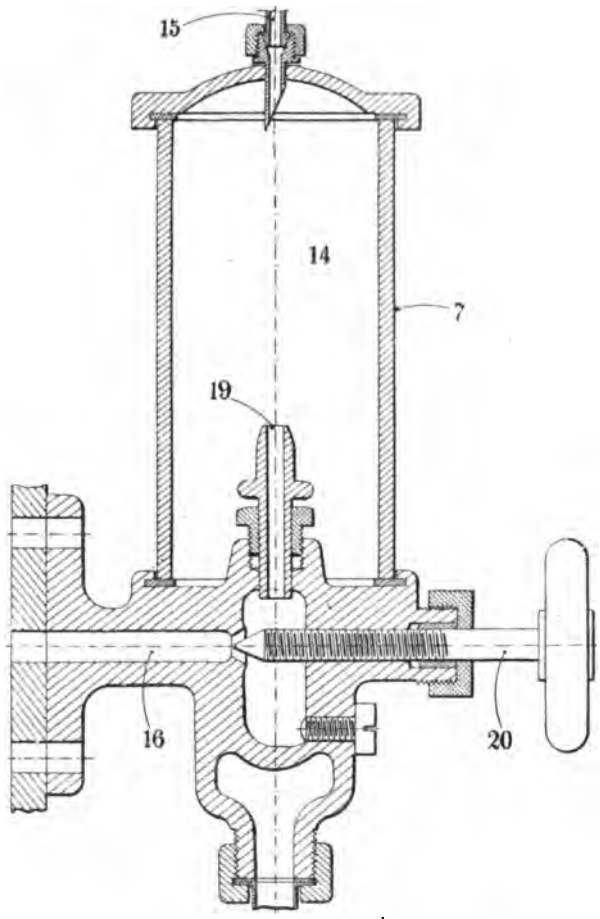


Fig. 87. — Gazogène Genty: régulateur d'écoulement d'eau pour vaporisation supplémentaire.

14, Capacité mise en communication par le tube 15 avec la partie supérieure du scrubber; — 16, Conduit communiquant avec le réservoir à niveau constant 6; — 19, Orifice de sortie du jet d'eau venant par 16 du réservoir 6; — 20, Robinet à pointeau fermant plus ou moins le conduit 16.

Le gazogène *Genty* (*fig.* 71) présente un régulateur 7 de débit d'eau pour vaporisation supplémentaire dont le fonctionnement est le suivant.

Habituellement, la vapeur fournie par la chaudière 4 et les tubes 5 (*fig.* 70 et 71) est suffisante pour le fonctionnement régulier du gazogène. Mais, lorsqu'on force un peu la production de gaz, la vaporisation peut se trouver insuffisante et on en est averti par l'examen du thermomètre 13 (*fig.* 70), qui accuse une élévation anormale de la température du gaz. On met alors en fonctionnement l'appareil 7.

Cet appareil (*fig.* 71 et 87) se compose d'une capacité 14 mise en communication par le tube 15 avec la partie supérieure du scrubber; au bas de la capacité 14 se trouve l'extrémité d'un conduit 16 communiquant avec le réservoir à niveau constant 6 (*fig.* 70 et 71).

Lorsque le gazogène fonctionne sous l'action de la soufflerie *f* (*fig.* 70), il se produit un vide partiel dans les divers appareils traversés par le gaz et notamment dans le haut du scrubber. Ce vide partiel se propage par le tube 15 dans la capacité 14, où il provoque un jaillissement de l'eau par l'orifice du tube 16 en communication avec le réservoir 6 (*fig.* 70 et 71).

L'eau qui jaillit dans 14 coule par le tube en siphon 17 (*fig.* 71) dans un entonnoir 18 d'où elle est conduite et déversée sur l'hélice qui entoure le tube 2 du récupérateur (*fig.* 70). Cette eau est ainsi vaporisée et la vapeur se réunit à l'air chaud qui se rend au foyer.

L'orifice de sortie du jet d'eau 19 étant placé à une certaine hauteur au-dessus du plan d'eau dans 6, aucun jaillissement n'a lieu tant que la dépression réalisée en haut du scrubber ne correspond pas à une colonne d'eau supérieure à cette hauteur.

Dès que le débit du gazogène dépasse cette limite, la dépression créée dans 14 est suffisante pour provoquer le jaillissement de l'eau avec d'autant plus de force que l'appel produit par la soufflerie *f* est plus intense. On règle la proportion d'eau ainsi débitée en donnant un diamètre convenable à l'orifice du tube de jaillissement 19 et en ouvrant plus ou

Digitized by Google

moins le robinet à pointeau 20. Dès que l'activité du gazogène se ralentit, le jaillissement d'eau diminue, puis s'arrête complètement, et la vapeur fournie par la chaudière 4 est seule utilisée.

Le gazogène *Deschamps* (*fig.* 88) présente un régulateur *i* dont le fonctionnement est facile à comprendre d'après la description suivante.

Ce générateur est formé essentiellement d'une cuve métallique *aa* ouverte à sa partie inférieure et qui se place sur une seconde cuve a_1. La cuve *aa* est garnie d'ailettes ; sa partie inférieure est entourée d'une cloison *b* venue de fonte avec la cuve et qui a pour but de retenir un bain d'eau au pied de cette cuve. Cette cloison repose sur une couronne horizontale *cc*, venue de fonte également avec la cuve *aa* et qui s'appuie sur la cuve a_1. Une petite conduite *u* réunit l'espace annulaire compris entre *a* et *b* à une cuve *g* dans laquelle de l'eau est maintenue à un niveau réglable. Dans la cuve a_1 est disposée une grille G et une porte *p*, qui permet d'atteindre les mâchefers au-dessus de la grille ainsi que les cendres qui sont au-dessous ; de plus, elle rend possible l'envoi par les ouvertures *d* et *e* d'un courant d'air et de vapeur au-dessus et au-dessous de la grille G.

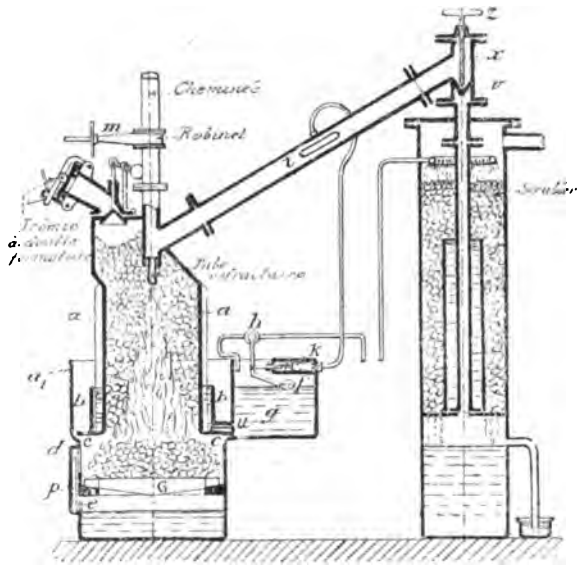


FIG. 88. — Gazogène Deschamps.

Sur le trajet de la conduite qui va de la cuve au scrubber, un *petit réservoir métallique* (régulateur) est interposé de façon à être baigné par le gaz. Il communique, par un petit tuyau, avec une poire en caoutchouc *k* placée dans un cylindre fermé par un petit piston soutenu par un ressort antagoniste. La tige de ce piston aboutit à la clé du robinet *h* qui amène de l'eau dans le réservoir *g* ; cette clé est reliée à un flotteur *f*, de telle manière que, si le niveau baisse dans le réservoir *g* au-dessous de la cloison *b*, le robinet tend à être ouvert par l'action de *f*, qui descend par son propre poids en flottant sur l'eau ; en même temps, ce robinet tend à être ouvert même quand le niveau de l'eau atteint ou dépasse la hauteur de la cloison *b*, dès que le piston est poussé par la dilatation de la poire *k*.

Dans le haut du scrubber, la conduite est étranglée ; à l'intérieur de l'orifice *v* produit par cet étranglement, une aiguille *x* peut être enfoncée plus ou moins par une vis sous l'action du volant *z*.

L'aiguille *x* et le volant *z* ont pour but de permettre de varier cette section suivant l'expérience, pour obtenir le meilleur résultat.

Cet amortisseur étant disposé dans une partie verticale, l'augmentation de vitesse produite par le passage du gaz au travers de l'orifice réduit tend à séparer les poussières et les goudrons.

Ce gazogène peut être allumé soit au moyen d'un petit ventilateur, soit par le tirage de la cheminée. Quand l'allumage est suffisant, le robinet *m* placé aupied de cette cheminée est fermé, et le moteur appelle le gaz dans la colonne à coke et par là au gazogène. L'air entre par les orifices *c* pratiqués dans la couronne horizontale *cc*, aboutit dans la partie inférieure de la caisse a_1 autour du combustible et, grâce à l'espace que réserve la porte,

Digitized by Google

aboutit en même temps par les ouvertures *d* et *e* au-dessus et au-dessous de la grille.

Le réglage du volant *z* permet d'éviter les à-coups trop violents dans l'entrée de l'air et doit être fait une fois pour toutes pour un moteur déterminé marchant dans les mêmes conditions habituelles.

Grâce au flotteur *f*, de l'eau est maintenue constamment entre la cuve *a* du générateur et la cloison *b*, de façon que la température ne puisse pas trop s'élever dans le métal de la cloison. La vapeur formée par l'échauffement de cette eau est entraînée avec l'air, grâce au prolongement supérieur de la caisse a_1, qui oblige cet air à être puisé autour de la partie supérieure du générateur où il subit déjà un premier échauffement.

La partie supérieure de la cuve *aa* est protégée contre l'échauffement par des ailettes, mais cet échauffement est sensiblement réduit, grâce à la disposition de la prise intérieure de gaz (tube réfractaire) qui doit plonger assez profondément dans le combustible et qui tend à maintenir la plus haute température au centre. C'est pour obtenir ce résultat que la trémie de chargement est placée assez haut au-dessus de la prise de gaz.

Si la température tend à devenir très élevée à l'orifice de la prise de gaz, notamment avec le coke, le réfractaire est destiné à en supporter l'effet et à protéger le métal. Si cependant la température vient à s'élever au delà d'une certaine limite dans le gazogène, le gaz sortira très chaud. Il fera dilater le gaz contenu dans l'enceinte *i*, placée sur son trajet; la pression augmentera dans celle-ci et, comme elle communique avec la poire *k*, le piston sera chassé et ouvrira le robinet *h*, malgré le flotteur *f*; le niveau de l'eau montera dans le réservoir *g*, et, par conséquent, débordera autour du gazogène au-dessus de la cloison *b*. L'eau s'écoulera ainsi sur la couronne *cc* et sera entraînée sous forme de liquide ou de vapeur en même temps que l'air par les orifices *c* ménagés dans cette cloison.

Ce fonctionnement automatique peut être réglé par des dispositifs simples, comme par exemple en déplaçant le point d'attache de la tige du piston à celle du robinet au moyen d'une coulisse et d'une vis de serrage, ou encore en déplaçant par une vis le fond du cylindre contenant la poire *k*. Il augmente d'ailleurs le rendement de l'ensemble du gazogène et du moteur; car plus le moteur développera une puissance élevée, plus le gazogène tendra à s'échauffer et plus il consommera d'eau. Par conséquent, le gaz produit sera d'autant plus riche que le moteur sera plus chargé et celui-ci sera, dans ce cas, dans les meilleures conditions.

25. Surchauffeurs. — La chaleur dégagée soit par les gaz produits, soit par le foyer du générateur, est employée non seulement pour engendrer la vapeur, mais encore pour surchauffer soit l'air, soit le mélange d'air et de vapeur avant son entrée au foyer.

Le mélange d'air et de vapeur est surchauffé autour du foyer dans les gazogènes *Grice* (*fig.* 51) [l'air entre en 17 dans le surchauffeur de vapeur 6]; *Fétu-Defize* (*fig.* 56) [le mélange d'air et de vapeur, après avoir passé dans l'enveloppe E, se rend dans le surchauffeur C]; *Crossley et Rigby* (*fig.* 68); *Genty* (*fig.* 70) [le mélange d'air et de vapeur passe dans le conduit 11].

L'air est échauffé avant son mélange avec la vapeur dans les gazogènes *Kynoch* (*fig.* 46) [l'entrée de l'air au vaporisateur est placée contre le revêtement du générateur]; *Hindley* (*fig.* 53); *Dudbridge* (*fig.* 65); *National Gas Engine C°* (*fig.* 78) [l'air est échauffé en 1 par les gaz sortant du générateur].

26. Refroidisseurs et scrubbers. — Les formes ordinaires de scrubbers sont représentées sur les figures 40, 53, 56, 62, 63, etc...

Digitized by Google

Souvent on cherche à opérer un lavage plus complet des gaz en multipliant les contacts avec l'eau.

Dans le gazogène *Genty* (*fig.* 70), les gaz, à leur sortie du récupérateur, sont entraînés par le conduit 21 à la partie inférieure du scrubber. Ils débouchent dans une cloche 22 et passent sous une tôle perforée, d'où ils s'échappent en fines bulles à travers une lame d'eau de faible épaisseur réglée par le déversoir 23, par lequel l'eau ayant servi au lavage du gaz sort au dehors à travers le tube 24.

Les gaz traversent ensuite de bas en haut le fond en tôle perforée du panier de tamisage 25 dans lequel s'écoule l'eau de la colonne à coke 26 constituant le haut du scrubber.

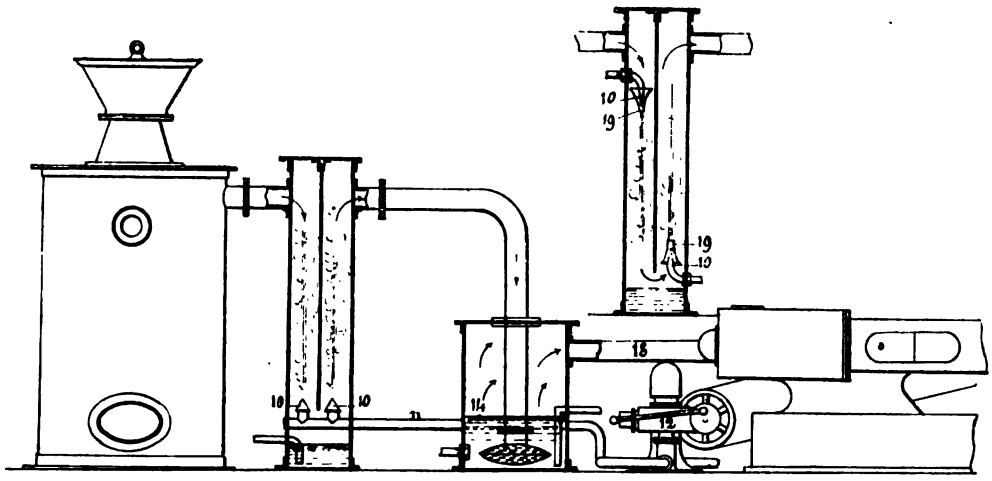


Fig. 89. — Gazogène Thornycroft.

10, Jets d'eau; — 11, Conduits allant à la pompe 12; — 12, Pompe pour refouler l'eau dans les jets d'eau 10; — 14, Lavage des gaz; — 18, Aspiration du moteur; — 19, Ajutages complémentaires formant éjecteurs

L'épaisseur de la lame d'eau traversée par le gaz au fond du panier de tamisage est limitée par la saillie des bords de plusieurs godets-déversoirs 27 qui jouent le rôle de siphons.

Les gaz traversent ensuite de bas en haut toute la colonne de coke 26 arrosée par une pluie d'eau venant de la partie supérieure du scrubber.

Dans le gazogène *Thornycroft* (*fig.* 89), le lavage des gaz se fait par des jets d'eau 10 refoulés par la pompe 12, avec ou sans ajutages complémentaires 19 formant éjecteurs. Le gaz subit encore un lavage définitif en 14 avant d'arriver à l'aspiration 18 du moteur.

Le condenseur-laveur à étages K du nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66) est composé de plusieurs éléments démontables. Grâce à une construction spéciale de l'appareil, le gaz est obligé de se diviser plusieurs fois en un grand nombre de jets ; son contact intime et prolongé avec la matière inerte dont les éléments sont remplis est assuré ; en même temps l'eau de lavage, distribuée d'une façon égale sur ladite matière, lave le gaz et entraîne toutes les impuretés.

27. Sécheurs. — Il y a un grave inconvénient à envoyer du gaz trop humide au moteur. L'humidité du gaz joue, en effet, un rôle important dans la détérioration rapide des sièges de soupapes ; elle est cause de l'oxydation des contacts du rupteur d'allumage. En outre, un gaz chargé d'une grande quantité de vapeur d'eau s'allume moins facilement qu'un gaz sec.

Aussi, dans la plupart des gazogènes, a-t-on soin de produire un séchage du gaz avant de l'aspirer dans le moteur. Dans le nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66), les deux derniers

Digitized by Google

éléments ne sont pas arrosés et servent à ce séchage. Souvent ce sécheur se compose d'un simple pot, qui suit le scrubber, et dans lequel sont parfois disposées des chicanes contre lesquelles le gaz vient buter (gazogène *Fétu-Defize*, *fig.* 56).

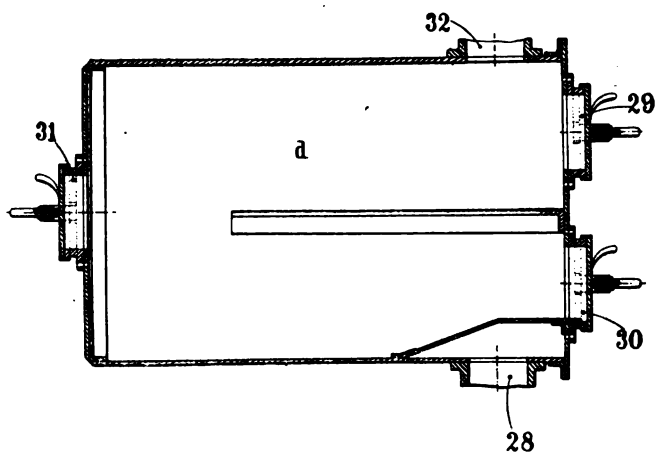


Fig. 90. — Gazogène Genty, épurateur à paille de fer.

29, Porte de chargement de la paille de fer rouillée ; — 30, Porte par laquelle on retire la paille de fer ; — 31, Porte destinée à faciliter la bonne répartition de la paille de fer.

28. Appareils pour purifier les gaz. — L'hydrogène sulfuré que peut contenir le gaz est cause de la rapide détérioration des cylindres et des pistons des moteurs. On l'élimine en faisant passer le gaz, au sortir du scrubber, dans un appareil contenant des copeaux de fer oxydés (gazogène *Pierson*, *fig.* 66).

Dans le gazogène *Genty* (*fig.* 70), les gaz arrivent par le conduit 28 dans l'épurateur à paille de fer *d* (*fig.* 90). Dans cet épurateur, la paille de fer rouillée est chargée par la porte 29 et retirée par la porte 30. Le gaz sortant de l'épurateur *d* par le conduit 32 traverse de bas en haut l'épurateur à mousse végétale *e* (*fig.* 70), où il se dessèche.

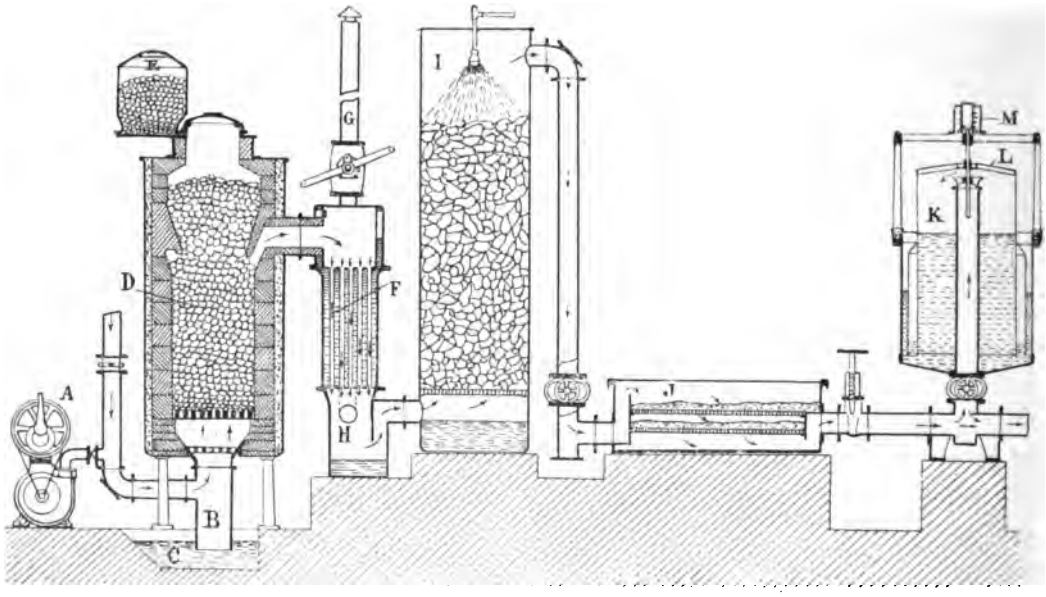


Fig. 91. — Gazogène à aspiration Julius Pintsch.

A, Ventilateur à main ; — B, Tube à joint hydraulique pour l'évacuation des cendres tombant dans la cuvette C ; — D, Cuve du générateur ; — E, Trémie de chargement ; — F, Vaporisateur ; — HG, Tuyau de dégagement des gaz pendant l'allumage ; — I, Scrubber à coke ; — J, Épurateur à deux plateaux ; — K, Régulateur automatique : la cloche L est suspendue à un ressort M ; lorsque le moteur aspire le gaz contenu dans la cloche, celle-ci tend à descendre sous l'action de la pression atmosphérique, mais le ressort M empêche la cloche de s'abaisser ; par suite du vide produit sous la cloche, il y a aspiration du gaz du générateur.

29. Joint hydraulique. — Quelques gazogènes (gazogène *Hindley*, *fig.* 53) présentent un joint hydraulique empêchant le retour au gazogène des gaz arrivés dans le scrubber. Souvent, pour faciliter le dégagement du gaz, on découpe en dents de scie les bords du

Digitized by Google

tuyau d'amenée du gaz à la partie inférieure du scrubber. Pour faciliter la mise en marche du gazogène, on peut supprimer ce joint en abaissant le niveau de l'eau.

30. **Réservoirs à gaz. — Cloche régulatrice.** — Quand l'installation d'un gazogène comporte, outre le scrubber, des épurateurs, ceux-ci constituent par eux-mêmes une certaine réserve utile de gaz avant l'arrivée au moteur. Il n'y a donc pas à craindre les inégalités dans l'aspiration du moteur. Quand on fonctionne sans épurateurs, il est bon de munir la conduite d'aspiration dans le voisinage du moteur d'un petit réservoir à gaz. Pour ne pas encombrer les emplacements, celui-ci doit être placé en sous-sol; il est utile de lui donner un volume représentant au minimum trois à quatre fois la cylindrée du moteur; il faut également le munir d'un robinet de vidange et, dans la partie accessible, d'un trou de bras pour permettre d'extraire les boues et les goudrons qui ont tendance à s'y accumuler. Les réservoirs à gaz sont, dans certains cas, constitués par une *petite cloche régulatrice* dont le rôle consiste à assurer l'uniformité de pression. Cette cloche se vide pendant la période d'aspiration et se remplit au cours des trois périodes successives de compression, de détente et d'échappement du moteur. On trouve de telles cloches régulatrices dans beaucoup d'installations faites par la firme *Julius Pintsch* (*fig.* 91).

31. **Ventilateurs de mise en marche.** — Les ventilateurs de mise en marche se distinguent en *ventilateurs insufflant de l'air* et *ventilateurs aspirant les gaz produits.*

Nous voyons les premiers sur des gazogènes tels que *Fétu-Defize* (*fig.* 56), *National Gas Engine C°* (*fig.* 78), *Winterthur* (*fig.* 84), etc.

Le nouveau gazogène *Pierson* (*fig.* 66) nous montre un exemple de ventilateurs aspirant les gaz. Ces exhausteurs sont généralement placés entre le scrubber et le moteur, comme on le voit sur la figure 66.

Digitized by Google

CHAPITRE VI

GAZOGÈNES ALIMENTÉS AVEC DES COMBUSTIBLES RICHES EN MATIÈRES VOLATILES GAZOGÈNES A CUVE A COMBUSTION RENVERSÉE GAZOGÈNES A CUVE A DOUBLE COMBUSTION GAZOGÈNES A DEUX CUVES

1. Nécessité d'une épuration complète du gaz destiné à l'alimentation des moteurs. — Nous avons déjà signalé dans le chapitre précédent l'importance d'une épuration complète du gaz destiné à l'alimentation des moteurs. Nous avons montré que l'anthracite à $\frac{3}{10.000}$ de goudron à l'analyse et à moins de $\frac{1}{10.000}$ dans son gaz (soit $0^{gr},023$ par mètre cube) était, si on ne prenait pas des précautions spéciales, incapable d'assurer le service d'un moteur à gaz à explosion. Il en est *a fortiori* de même des houilles splint d'Écosse, des lignites, des tourbes, des bois, etc., à 4,5 et 7 0/0 de goudron, c'est-à-dire des combustibles à 40 et 70 kilogrammes de goudron à la tonne.

L'élimination complète de ces goudrons s'impose, si on veut employer ces combustibles à produire du gaz susceptible d'alimenter des moteurs. Les moindres traces de ces goudrons sont en effet, comme nous l'avons vu, capables d'arrêter un moteur en collant les soupapes.

2. Méthodes d'élimination des goudrons. — On peut songer à effectuer cette séparation par deux méthodes principales:

1° *Au moyen d'épurateurs spéciaux;*

2° *Par destruction du goudron par décomposition ou combustion dans le gazogène lui-même.*

3. Difficultés présentées par l'élimination de certains goudrons. — Goudrons vésiculaires vagabonds. — La première méthode présente des difficultés spéciales. En effet, comme l'a remarqué *M. Lencauchez* (1), il y a des goudrons de gazogène

(1) Lencauchez, *Etudes sur divers gaz combustibles*, 2e partie, p. 39 et 67 (Paris, Bernard Tignol, 1902).
Lencauchez, *les Gaz combustibles et les Moteurs à gaz* (*Bulletin trimestriel de la Société de l'Industrie minérale*, 4e série, t. IV, 1re livraison 1905).

Digitized by Google

qui sont très difficiles à condenser. Ces goudrons, appelés par *M. Lencauchez goudrons vésiculaires vagabonds des gazogènes*, renferment des poussières de carbone et de cendres, qui forment avec le goudron une sorte de mastic ou de ciment et donnent au gaz produit une teinte gris ardoisé. Ces poussiers traversent des réfrigérants à sec, des laveurs à colonne de coke, des filtres à sciure de bois et à mousse ; ils restent indéfiniment en suspension dans les gazomètres. Lorsqu'ils arrivent sur les parties chaudes des boîtes à soupapes d'admission des moteurs à gaz, ils entrent en fusion, perdent leurs essences et forment un dépôt très dur et adhérent qui arrête le moteur.

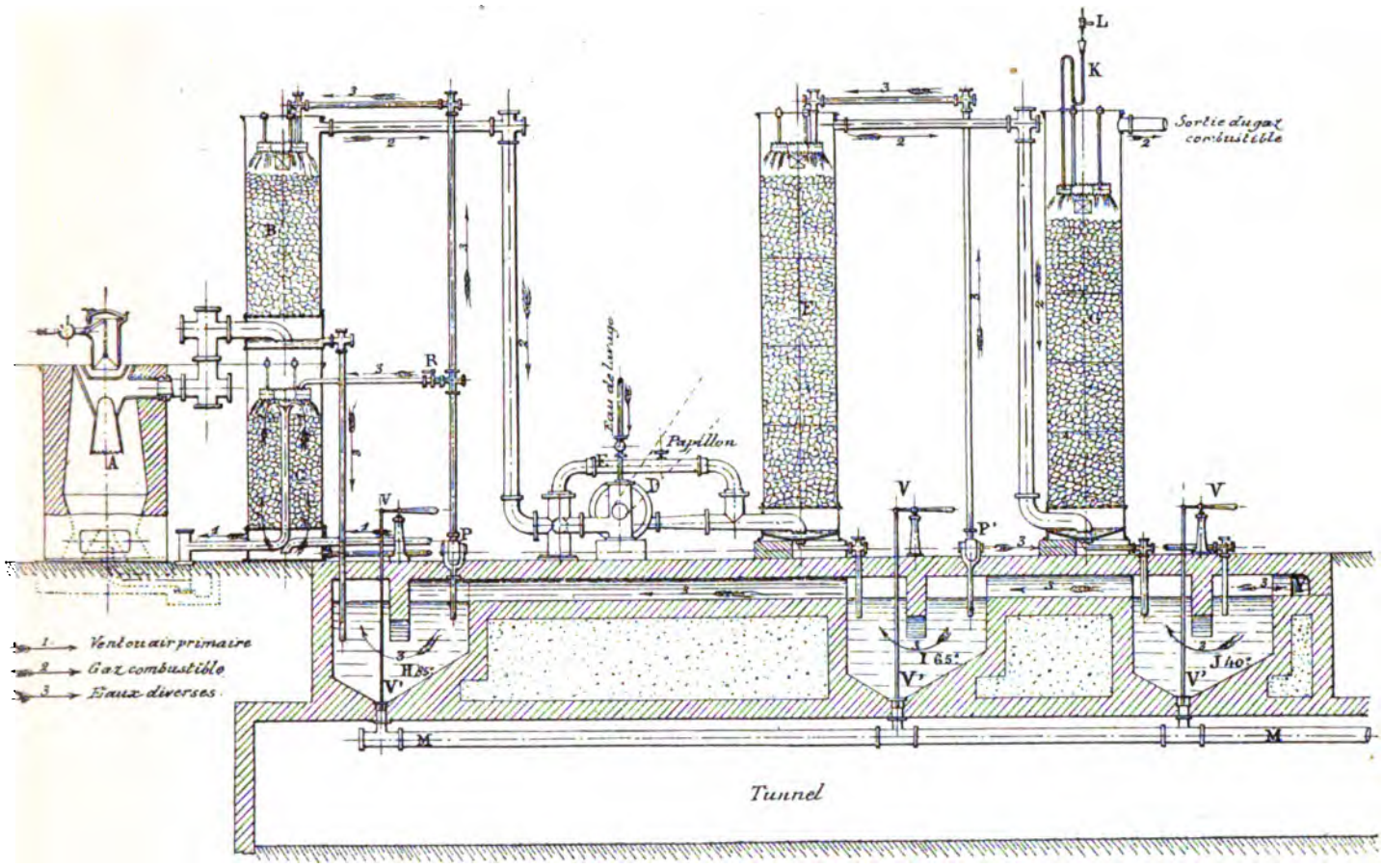


Fig. 92. — Installation pour la gazéification de 400 kilogrammes de splint coal à l'heure ou de 500 kilogrammes de lignite parfait, qualité des Bouches-du-Rhône et de la Catalogne.

Ce dessin schématique ne donne pas les vannes et tous les robinets de vent, d'eau et de gaz qui sont indispensables, ainsi que les siphons de sûreté,

A, Gazogène à cendrier à joint hydraulique et à prise de gaz centrale ; cet appareil peut être soufflé par un ventilateur Root ou aspiré ; — B, Laveur-scrubber à l'eau chaude indéfiniment relevée par une pompe P ; — C, Laveur-saturateur chauffant l'air primaire entre 75 et 85° en le saturant à cette température ; — D, Aspirateur-laveur centrifuge ; — E, By-Pass ou dérivation permettant de ne pas faire passer le gaz par D ; — F, Laveur-condenseur des goudrons entre les températures de 70° à 60°, dont l'eau de lavage est continuellement relevée par la pompe P' ; suivant la nature des goudrons, on fait varier à volonté ces températures ; — G, Laveur-scrubber finisseur recevant de l'eau à 5, 10, 15 ou 20°, ramenant le gaz à la température de 25° au minimum ; — H, Première citerne de séparation des eaux des goudrons, formant réservoir à eau chaude, 85° environ ; — I, Deuxième citerne de séparation des eaux des goudrons, formant réservoir à eau tiède, à 65° environ ; — J, Troisième citerne de séparation des eaux des goudrons, formant réservoir à eau froide, à 40° environ ; — K, Siphon d'introduction d'eau froide en G ; — L, Tuyau et robinet d'introduction d'eau froide ; — M, Conduite de vidange des citernes ; — P, P', Pompes centrifuges ou à piston pour relever continuellement les mêmes eaux, chaude et tiède ; — R, Robinet de distribution régulateur par résistance pour B et C ; — VV', Clapets de vidange avec leurs tiges et bornes de manœuvre ; — Y, Caniveau de trop-plein ne perdant que de l'eau froide.

Les évaporations des citernes I et H sont compensées par les retours d'eau de J en I et H, comme les flèches l'indiquent.

Nota. — Dans le cas de la marche au coke ou à la houille anthraciteuse, le laveur-scrubber F et la citerne I sont supprimés ; seule la saturation du vent à 75° est utile, puisqu'il n'y a plus lieu de condenser des goudrons.

4. Mode d'épuration par l'eau chaude préconisé par M. Lencauchez. — Pour séparer ces goudrons par épuration, *M. Lencauchez* a proposé le système suivant, représenté sur la figure 92 et fondé sur l'emploi de l'eau chaude.

Digitized by Google

Au sortir du générateur, le gaz passe dans une *colonne à coke* B où l'eau de lavage tombe de haut en bas à une température comprise entre 75 et 85°. Dans ce milieu à température suffisamment élevée, les goudrons ne peuvent former ces petites vésicules solides qui traversent les filtres ordinaires. Une partie des goudrons est entraînée par l'eau de lavage dans le bassin de décantation H, où elle se dépose à la partie inférieure ; l'eau de ce bassin est d'ailleurs indéfiniment relevée par la pompe P pour venir tomber soit dans le laveur B, soit dans le laveur C dont nous verrons tout à l'heure le rôle.

Le gaz sortant de B chaud et saturé de vapeur d'eau traverse dans un *second laveur* F de l'eau à 65° environ, qu'il peut réchauffer jusqu'à 70° ; sur une hauteur de 6 mètres, le gaz est obligé de filtrer à travers du petit coke. A cette température, la presque totalité des goudrons s'écoule dans la citerne I, dont l'eau à 65° est indéfiniment relevée par la pompe P' pour venir retomber dans la colonne F.

La dernière colonne G fait office de *condenseur ;* elle reçoit de l'eau froide qui arrive dans la citerne J à 40° environ. Le gaz en sort, suivant les saisons, à des températures variant de 10° à 25°. De là, il va au gazomètre.

Les trois bassins de séparation sont en communication. Le trop-plein de J à 40° peut s'écouler en I, où l'eau est à 65° ; l'eau de I peut s'écouler en H, où l'eau est à 85°. On peut ainsi réparer les pertes par évaporation en H et I dont les eaux servent toujours, indéfiniment relevées par les pompes P et P'. Quand il y a de l'eau en excès, elle s'écoule par un caniveau Y et c'est de l'eau à 40° qui s'échappe ainsi.

Par des clapets de vidange V et V', les goudrons des citernes sont évacués dans la conduite commune M.

Enfin, la colonne à coke C reçoit de l'eau chaude ; elle est traversée par l'air primaire qui s'y échauffe et s'y charge de vapeur d'eau avant d'être envoyé sous la grille.

En résumé, l'épuration des goudrons se fait au moyen de trois laveurs :

1° Un laveur recevant l'eau à 85° environ ;

2° Un laveur recevant l'eau à 65° environ ;

3° Un laveur-condenseur à l'eau froide.

Or, dans certains cas, il y a des goudrons spéciaux qui résistent à trois lavages ainsi réalisés. Par exemple, pour épurer complètement le gaz de lignite destiné à l'alimentation des moteurs à gaz, il faut employer cinq à six laveurs à des températures de 80°, 65°, 50°, 35° et 25°. Chacun de ces laveurs est accompagné d'un bassin de décantation.

On voit donc à quelles opérations compliquées on est amené quand on veut effectuer la séparation de certains goudrons.

Aussi est-on conduit, pour l'élimination complète de ces goudrons, à employer la méthode de destruction des goudrons par le feu dans le gazogène lui-même.

5. Destruction des goudrons par le feu. — La méthode consiste à *placer d'abord les goudrons dans une atmosphère oxydante à une température suffisamment élevée afin de produire une combustion préalable, puis à faire passer le mélange gazeux résultant sur une colonne de coke au rouge en présence d'une quantité convenable d'air et de vapeur d'eau.* Par ces deux transformations effectuées en milieu *oxydant*, les goudrons sont transformés en gaz non condensables susceptibles d'alimenter les moteurs.

On a reconnu que l'existence de ce milieu oxydant était nécessaire pour obtenir la transformation des goudrons en gaz combustibles non condensables. *M. Lencauchez* a notamment remarqué qu'il était insuffisant de faire uniquement passer les gaz chargés de goudrons sur du charbon chauffé au rouge.

Digitized by Google

6. Gazogènes à un seul combustible. Gazogènes à une cuve, à deux cuves. Gazogènes à combustion renversée, à double combustion. — *Le coke destructeur des goudrons peut être produit par le combustible même qui fournit les gaz mélangés aux vapeurs de goudron.* Nous avons ainsi les gazogènes dits à *un seul combustible*. Ce combustible peut être chargé dans *une cuve* ou dans *deux cuves;* dans le deuxième cas, le gazogène est dit à *deux cuves*. Quand le combustible est chargé dans une seule cuve, le mélange d'air et de vapeur d'eau, générateur des gaz mixtes du gazogène, peut *descendre de haut en bas ou circuler à la fois de haut en bas et de bas en haut*. Les *générateurs à combustion renversée* appartiennent au premier type d'appareils; les *générateurs à double combustion* sont caractéristiques du second type. Dans les *générateurs à deux cuves*, le mélange d'air et de vapeur d'eau va, dans une même cuve, alternativement dans un sens ou dans l'autre, suivant les phases de la production des gaz mixtes.

7. Gazogènes à combustibles multiples. — Lorsque le coke destructeur des goudrons est introduit tout préparé dans le gazogène où l'on traite d'autre part un ou plusieurs autres combustibles destinés à produire les gaz chargés de goudrons, on se trouve en présence de *générateurs à combustibles multiples*.

8. Entraînement des vapeurs goudronneuses par les gaz dans les gazogènes à combustion directe. — Dans tout gazogène, il y a au-dessus de la zone où le combustible, transformé en coke, est porté à la température la plus élevée, une zone dans laquelle ce combustible est chauffé à une température suffisamment élevée pour distiller et fournir des carbures d'hydrogène; c'est d'ailleurs dans cette même zone que le combustible se transforme en coke. Si le gazogène est à *combustion directe*, c'est-à-dire si le mélange d'air et de vapeur d'eau s'élève de bas en haut en traversant d'abord la couche de coke porté au rouge, le mélange combustible formé rencontre à la partie supérieure les carbures provenant de la distillation et les entraîne avec lui dans les appareils d'épuration. Or, à moins de donner à ceux-ci un développement très considérable, il est impossible d'y retenir les goudrons qui, parvenant dans les chambres de combustion des moteurs, y produisent les effets déplorables que nous avons signalés.

9. Gazogènes à combustion directe. — Prise de gaz dans la région très chaude du gazogène. — On a d'abord cherché à remédier à cet inconvénient *en faisant une prise de gaz dans la région très chaude du gazogène où les gaz ne renferment pas de goudrons*. C'est sur ce principe qu'est fondé le gazogène à aspiration de *MM. D. Roberts et H.-C. Anstey* (*fig.* 93), construit par les *Spittlegate Iron Works à Granthana*. La sortie du gaz se fait par une colonne centrale *e*, surmontée d'un capuchon *f* autour duquel le tassement de la charge ménage un vide de prise de gaz. L'aspiration de ces gaz, qui n'ont plus ainsi à traverser des couches de combustibles relativement froides et chargées de goudrons et d'hydrocarbures en distillation, se fait par le moteur de *fe* en *m*, au travers des tubes *j* du vaporisateur. La vapeur produite dans celui-ci est enlevée par l'air admis en *no* et qui, avant d'arriver sous la grille, achève de se réchauffer par son passage suivant *gp* dans l'enveloppe du gazogène (1).

Nous avons rencontré une telle prise centrale de gaz dans les gazogènes *Lencauchez* et *Deschamps*. Mais cet artifice ne donne de bons résultats qu'avec les charbons peu riches en

(1) *Revue de Mécanique*, t. XVII, n° 5, 30 novembre 1905, p. 465.

Digitized by Google

matières volatiles ; les carbures d'hydrogène, qui tendent à s'échapper avec les gaz aspirés, n'ont pas avec le coke porté à l'incandescence un contact suffisamment prolongé pour être détruits complètement.

10. Gazogènes à combustion directe. — Ramener sous la grille les produits de distillation. — Une méthode de destruction des goudrons qui doit certainement donner de bien meilleurs résultats est celle qui consiste à *aspirer les produits volatils de la distillation qui se trouvent à la partie supérieure du gazogène, pour les ramener à sa base et les brûler ainsi d'une manière complète en présence d'un excès d'air primaire.* Ce procédé, appliqué dans le gazogène *Duff et Whitfield* (1), dans le gazogène *Poetter* (2) (*fig.* 94), est réalisé dans le gazogène *Schmidt* (3), représenté sur la figure 95. Les produits de la distillation ou de la combustion imparfaite du combustible bitumineux sont aspirés, dans la partie supérieure de la cuve, en des prises étagées *b*, au travers du tuyau *c* muni d'un éjecteur à vapeur en *d*; ces produits refoulés au bas de la cuve sont brûlés en présence de l'air primaire. La sortie des gaz combustibles s'effectue en *g* vers le milieu de la cuve. Pour éviter la condensation des goudrons dans le tuyau *c*, cette conduite reçoit, à sa partie supérieure, une aspiration de gaz plus chauds dérivés par le tuyau *e;* parfois le tuyau *c* est entouré d'une enveloppe dans laquelle circule une dérivation des gaz chauds à leur sortie du gazogène. La grille inclinée *k*, qui débouche sur le cendrier à eau *p*, est facilement décrassée par les ouvertures *z* ; en *i* et *g* se trouvent des ouvertures qui permettent de piquer la masse du combustible de manière à y éviter la formation de cavités et à en régulariser la descente. Le tuyau *c* est pourvu d'un collecteur de poussière *l*.

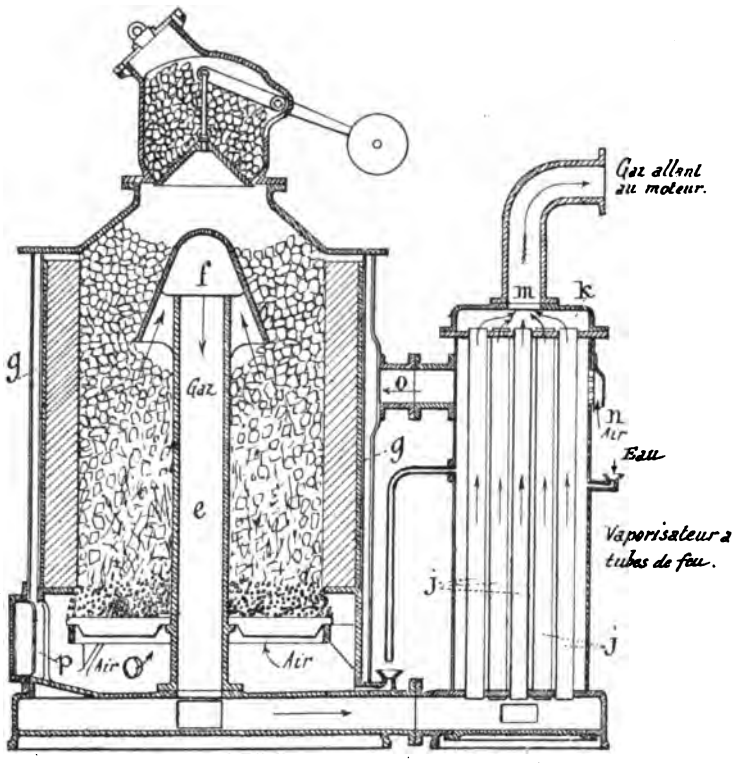


Fig. 93. — Gazogène à aspiration Roberts et Anstey.

La firme *Julius Pintsch* (4), de Berlin, construit des *gazogènes à aspiration* fondés sur le principe précédent; ces gazogènes sont représentés sur les figures 96 et 97.

Le gazogène de la figure 96 se compose d'une enveloppe extérieure cylindrique B en briques réfractaires, dans l'intérieur de laquelle sont ménagés deux compartiments reliés entre eux par un cylindre A de grand diamètre, situé juste au-dessous de la trémie de char-

(1) *Revue de Mécanique*, t. XV, novembre 1904, p. 483.
(2) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XLIX, n° 47, 25 novembre 1905.
(3) *Revue de Mécanique*, t. XVI, mai 1905, p. 472.
(4) *Sauggaserzeuger für teerbildende Brennstoffe und für kleinstückigen Koksabfall* (*Stahl und Eisen*, 26e année, n° 13, 1er juillet 1906; — *Génie civil*, t. XLIX, n° 26, 27 octobre 1906).

Digitized by Google

gement E. Le compartiment inférieur H constitue le foyer : il est fermé par une grille D et communique, par une tubulure latérale F, avec la chaudière G, le scrubber O et l'épurateur P, semblables à ceux des gazogènes ordinaires. Le compartiment supérieur est en relation, d'une part, avec le cendrier, par l'intermédiaire d'un tuyau descendant L, sur le trajet duquel se trouve intercalé un éjecteur à vapeur J, alimenté par la chaudière G ; d'autre part, avec la cheminée M, par une conduite fermée ordinairement par un registre.

L'appareil est complété par un petit ventilateur V, mis en route uniquement pendant les périodes d'allumage, et relié également au cendrier.

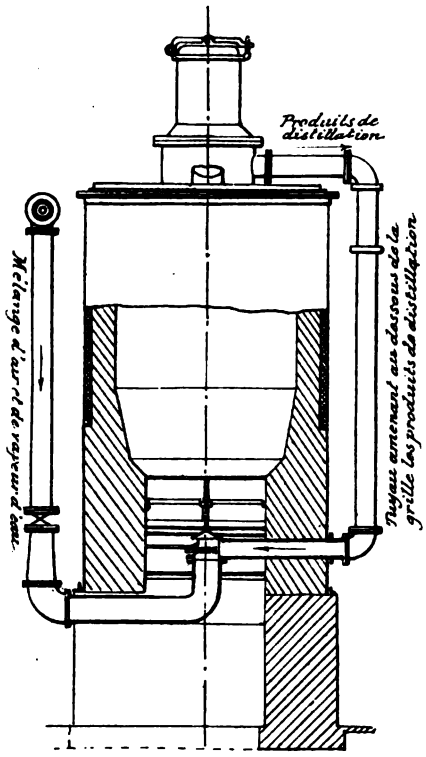


Fig. 94. — Gazogène Poetter.

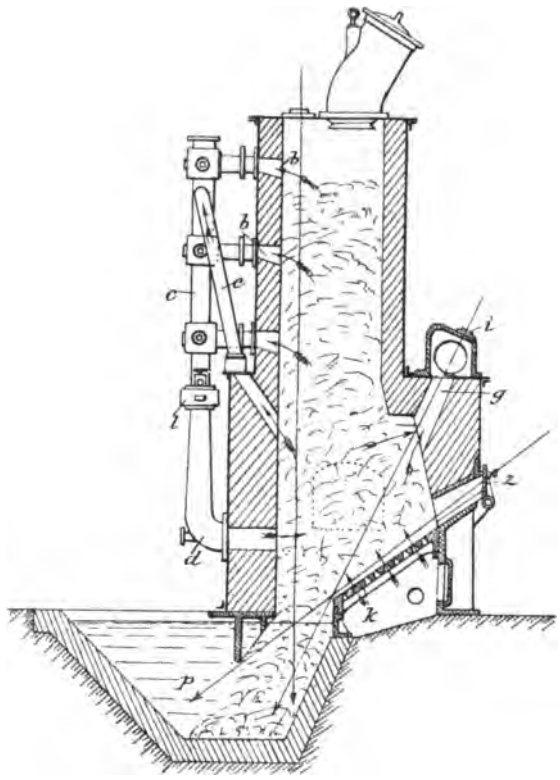


Fig. 95. — Gazogène Schmidt.

Le fonctionnement de ce gazogène est le suivant. On le remplit de combustible de telle sorte que celui-ci occupe le foyer, le cylindre A, et en grande partie la trémie d'alimentation E. On allume et on actionne le ventilateur, après avoir ouvert les registres de la cheminée M, placés à la sortie de la chaudière G et du compartiment supérieur ; on continue ainsi jusqu'à ce que toute la masse du combustible contenue dans le foyer H et une partie de celui renfermé en A soit incandescente, et que l'eau contenue dans la chaudière G soit amenée à l'ébullition et donne de la vapeur à une pression de $1^{kg},25$ à $1^{kg},50$.

On ferme alors les deux registres de la cheminée E et on ouvre le robinet de l'éjecteur, en même temps qu'on met en route le moteur ou l'appareil alimenté par le gazogène.

A partir de ce moment, le gaz produit par la combustion partielle du combustible qui est contenu en H et qui a été transformé en coke pendant la période d'allumage se rend dans l'intervalle libre existant entre A et B, d'où il est aspiré au travers du conduit F. Le charbon frais tombant de la trémie E descend dans le cylindre A, entouré de toutes parts de gaz chauds, et dans lequel il distille. Mais, comme l'éjecteur J produit une certaine dépression dans le compartiment supérieur, les produits de cette distillation sont aspirés à travers le

Digitized by Google

cylindre A, ainsi qu'une partie des gaz contenus dans le compartiment inférieur; ces produits passent, mêlés à de la vapeur, dans le cendrier.

Là ils arrivent à deux brûleurs doubles K, auxquels l'air est fourni par l'ouverture du

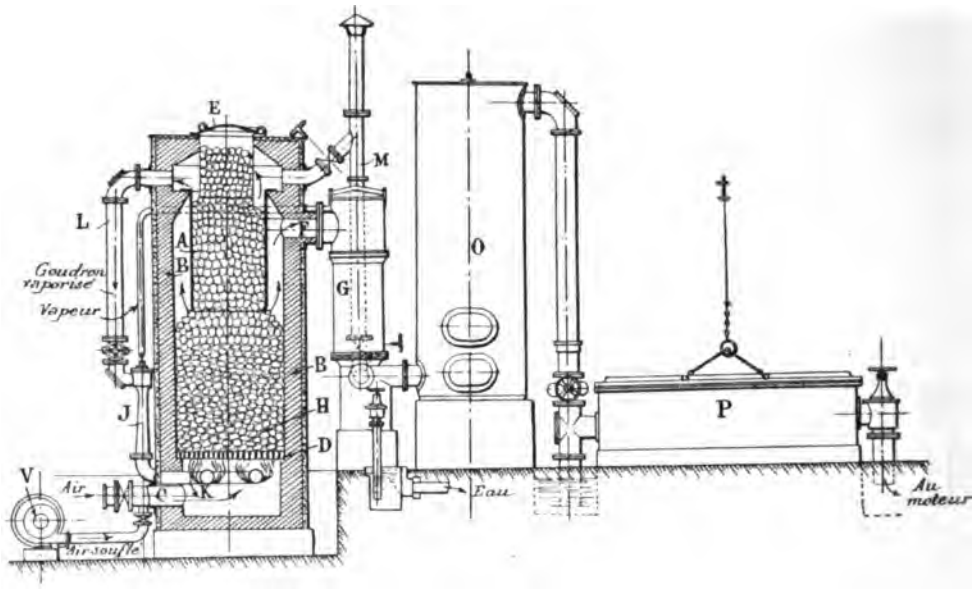


Fig. 96. — Gazogène à aspiration Pintsch pour combustibles riches en goudrons.

cendrier C. En ce point, ces gaz, qui contiennent tout le goudron, sont complètement brûlés dans un excès d'air, et les produits de cette combustion remontent ensuite à travers la couche de coke incandescent, où ils sont partiellement transformés à nouveau en gaz combustibles.

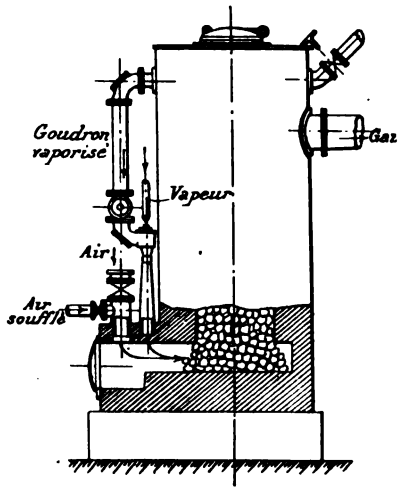


Fig. 97. — Gazogène Pintsch sans grille pour fines ou déchets de combustibles riches en goudrons.

Pour éviter que les produits de distillation en A ne puissent être entraînés dans les épurateurs, au moment des fortes consommations du moteur par exemple, on donne à la chaudière G et à l'éjecteur J des dimensions telles que la dépression créée par ce dernier dans le compartiment supérieur l'emporte toujours de beaucoup sur celle que pourrait créer l'aspiration du moteur par le conduit F dans le compartiment inférieur.

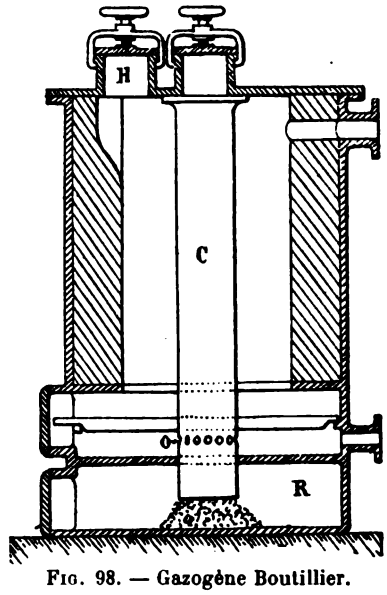


Fig. 98. — Gazogène Boutillier.

Avec les combustibles secs et non collants, il est inutile de prendre aucune précaution. Mais, avec les combustibles collants, il est bon de mêler un peu de coke, d'anthracite ou de tourbe. Avec les combustibles très humides, on peut remplacer la vapeur alimentant l'éjecteur par de l'air comprimé à la même pression.

Digitized by Google

Pour pouvoir employer dans ce gazogène des fines ou déchets de houille, on emploie de préférence le dispositif de la figure 97.

La grille est supprimée, la cuve du foyer est élargie à sa partie inférieure, de façon que le combustible vienne reposer directement sur le fond en maçonnerie du foyer, laissant tout autour un espace annulaire libre, pour permettre l'accès de l'air. On a également modifié un peu l'arrangement du brûleur et de l'entrée d'air, mais le fonctionnement reste le même.

Nous venons de décrire deux modes de combustion des goudrons dans les gazogènes à combustion directe.

Ce mode de combustion des goudrons est réalisé d'autre part dans le gazogène *Boutillier* (1) de la manière suivante. Dans la colonne C (*fig.* 98), on verse le combustible qui distille. Les gaz de cette distillation passent au foyer et y brûlent. Le combustible ainsi distillé et recueilli en R peut ensuite se charger en H et se brûler sans inconvénient dans le gazogène fonctionnant à combustion directe.

11. Gazogènes à combustion renversée. — Nécessité d'une alimentation suffisante d'air à température élevée. — Au lieu de ramener les carbures de distillation à la base d'un générateur fonctionnant à combustion directe, on préfère souvent entraîner ces carbures dans les parties les plus chaudes du gazogène par le *courant d'air et de vapeur d'eau arrivant par la partie supérieure de la cuve.* On dit alors que le gazogène fonctionne à *combustion renversée.* Les parties supérieures du combustible sont à une température suffisamment élevée pour distiller. Le mélange d'air et de vapeur d'eau, qui traverse ces couches, produit une oxydation directe ou une combustion préalable des carbures avant de les amener au contact des parties rouges du combustible où leur transformation s'achève. Les gaz combustibles non condensables ainsi formés rencontrent ensuite des zones de moins en moins chaudes; ils sortent au bas du gazogène transformés et légèrement refroidis.

Si l'alimentation d'air, en haut du gazogène, est suffisante et surtout si l'air primaire est porté à haute température, les carbures qui se forment à la partie supérieure se trouvent dans un milieu suffisamment *oxydant* pour que l'épuration des gaz puisse se faire dans de bonnes conditions. *Si la quantité d'air entraînée avec les gaz de distillation est insuffisante, il faut mettre une entrée d'air supplémentaire un peu au-dessus de la zone la plus chaude. Un dispositif recommandable consiste à introduire l'air suffisamment chaud à un niveau aussi bas que possible dans la cuve, de manière que les carbures de distillation rencontrent une atmosphère oxydante au voisinage des parties les plus chaudes du gazogène.*

12. Inconvénients de la combustion renversée. — Cette méthode de la combustion renversée, qui semble parfaite au point de vue de la destruction des goudrons, présente quelques inconvénients qu'il convient de signaler.

En premier lieu, *les cendres produisent un grand encombrement.* Dans les gazogènes à combustion renversée, elles prennent naissance surtout en haut de la cuve, là où la combustion est la plus vive. Entraînées par leur poids, elles descendent dans les parties inférieures, qui contiennent alors presque uniquement des cendres.

Il y a un second inconvénient, provenant de ce que ces cendres entraînent du *combustible distillé,* mais *non complètement brûlé.* Le combustible au rouge rencontre en effet, au fur et à mesure qu'il descend, des zones où les gaz sont de plus en plus réducteurs; quand

(1) *Revue de Mécanique*, t. XV, 1904, p. 481.

Digitized by Google

il arrive à la partie inférieure, où il ne rencontre plus d'oxygène et où la température est basse, il ne peut plus brûler et se trouve entraîné avec les cendres. Au contraire, dans un gazogène à combustion directe, l'air arrive justement dans la région où le charbon est le plus riche en cendres ; ce combustible, porté à la température maximum du gazogène, brûle alors très facilement.

Ainsi donc il est impossible que, dans un gazogène à combustion renversée, le combustible soit intégralement brûlé. *M. Lencauchez* estime que, dans certains cas, la moitié environ du carbone fixe des combustibles passe avec les cendres.

Lorsqu'on emploie le bois comme combustible, il est facile de retirer des cendres, par un procédé de triage, les morceaux de combustible non brûlés. En effet, les cendres du bois sont assez fines, alors que les morceaux de charbon de bois sont encore gros. Mais cette opération paraît trop coûteuse pour les houilles impures donnant beaucoup de scories.

13. Cas dans lesquels les gazogènes à combustion renversée peuvent rendre de très grands services. — Toutefois, les gazogènes à combustion renversée peuvent rendre de réels services si, d'une part, il est très important d'avoir, avec un appareil simple alimenté par un combustible peu cendreux et assez riche en matières volatiles, du gaz suffisamment pur que l'on puisse employer dans les moteurs sans avoir besoin d'utiliser de nombreux appareils d'épuration, et si, d'autre part, le combustible ne coûte pas cher.

Il convient, d'ailleurs, de remarquer que le courant gazeux doit entraîner une forte proportion de cendres et qu'il faudra procéder à une épuration physique. Cette opération se fait d'ailleurs facilement dans un scrubber par suite de la grande densité des cendres.

14. Fonctionnement à combustion renversée. — Points sur lesquels il est utile de porter son attention. — Manières de produire l'adduction d'air supplémentaire. — Dans la marche à combustion renversée, il est donc très important de porter son attention sur deux points.

1° *Les hydrocarbures ne peuvent être détruits que s'ils se trouvent dans une atmosphère franchement oxydante, de manière à subir une oxydation directe ou une combustion préalable avant de venir en contact avec les parties les plus chaudes du combustible de la cuve.*

2° *Les cendres amassées à la partie inférieure doivent pouvoir être enlevées sans qu'il y ait dans le cendrier une rentrée d'air susceptible de donner un mélange tonnant avec les gaz combustibles produits par le gazogène.*

L'introduction d'un excès d'air primaire peut se faire :

a) *A la partie supérieure de la cuve ;*

b) *Par une adduction d'air supplémentaire* faite à un niveau situé au-dessous du niveau supérieur de la cuve : c'est ce qui est réalisé dans les générateurs *Dauber* (1), *Thwaite* (2) ;

c) *Par une adduction unique d'air se faisant assez bas dans le gazogène, au-dessous de la zone de distillation. Les gazogènes Kitson* (3), *Deschamps* (4), *de la Société anonyme pour la production et l'emploi de la vapeur surchauffée* (5) *appartiennent à ce type.*

(1) Deschamps, *les Gazogènes*, p. 284.
(2) *Revue de Mécanique*, t. XVI, mai 1905, p. 464.
(3) Deschamps, *les Gazogènes*, p. 295.
(4) Id., *Id.*, p. 300.
(5) Id., *Id.*, p. 306.

Digitized by Google

15. Gazogène Letombe à foyer supérieur. — Le gazogène *Letombe* (*fig.* 99) représente le type des gazogènes dans lesquels l'air primaire arrive en grand excès par la partie supérieure de la cuve. Celle-ci se trouve, en effet, surmontée d'une sorte de foyer *f* à grille inclinée, alimenté par une trémie *t*. Le chauffeur, en introduisant un ringard entre les barreaux de cette grille, peut faire tomber dans la cuve *a* le combustible imparfaitement

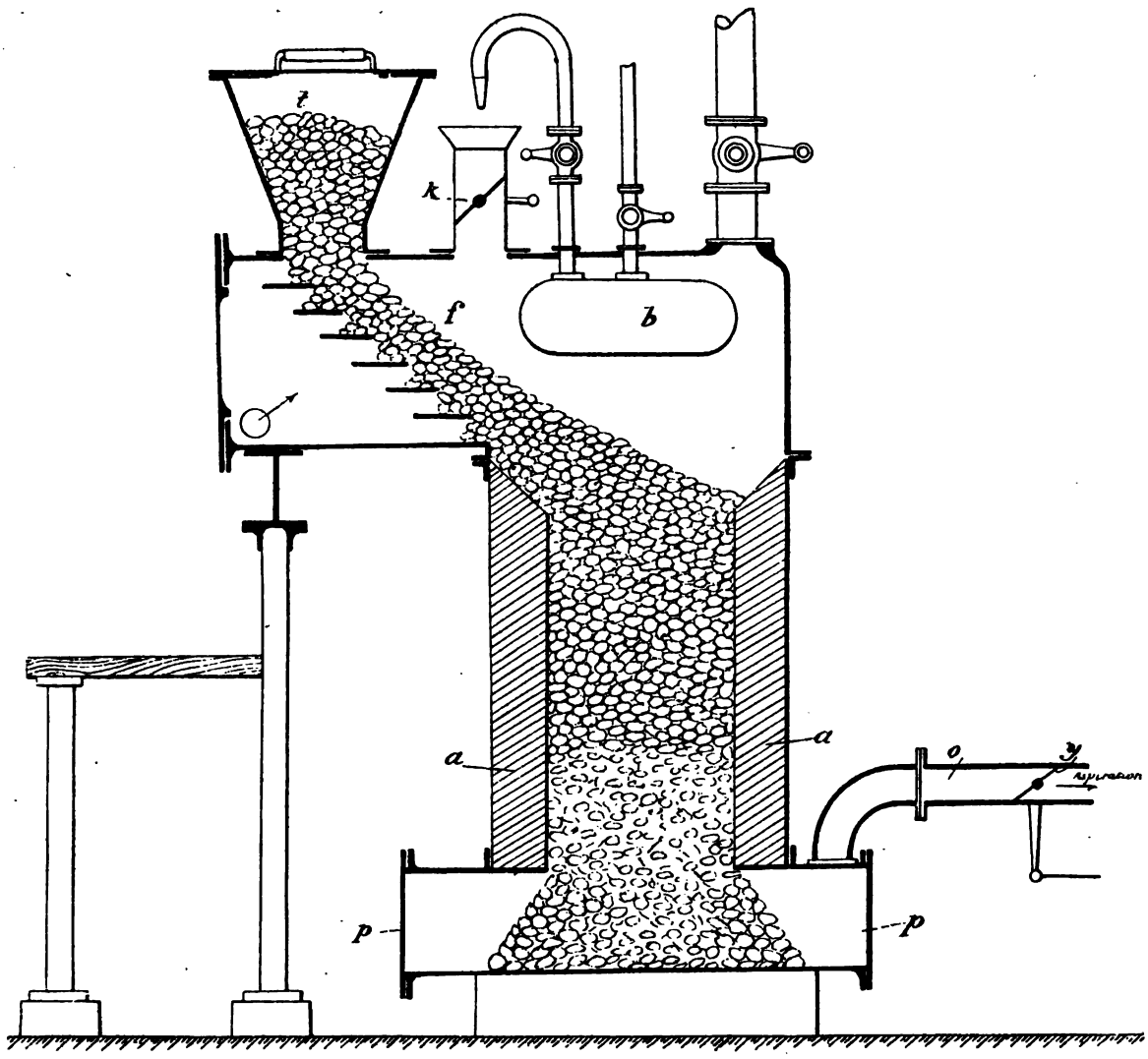


Fig. 99. — Gazogène Letombe à foyer supérieur et à combustion renversée.

brûlé. En face de la grille *f* est disposée une bouillotte *b* destinée à produire de la vapeur à basse pression. Le fonctionnement est le suivant. Sous l'influence de la dépression par l'orifice de sortie *o*, l'air est appelé dans l'appareil au travers de la grille *f* et détermine une combustion préalable du combustible chargé par la trémie *t*; le combustible distille et les hydrocarbures brûlent. Un papillon *k*, placé au-dessus de cette grille, permet de faire rentrer la quantité d'air supplémentaire qui est nécessaire pour le fonctionnement normal du gazogène.

Les produits de la combustion anticipée, mélangés à l'air supplémentaire humidifié par un jet de vapeur venant de la bouillotte, passent au travers de la colonne de combustible de la cuve *a* et sortent à l'état de gaz non condensables.

Digitized by Google

Ce gazogène permet l'emploi de tous les charbons qui sont bons pour les chaudières à vapeur.

Le réglage de la production du gaz peut se faire par un papillon *y* placé sur la conduite de sortie des gaz.

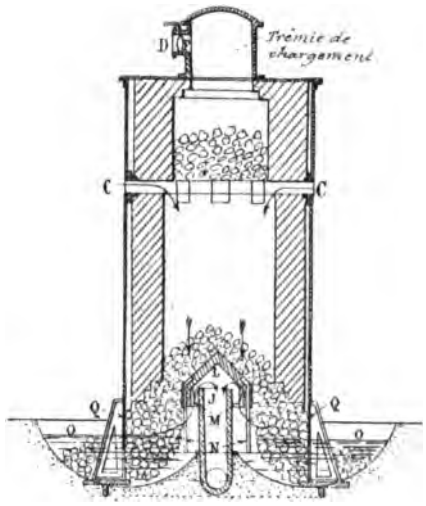


Fig. 100. — Gazogène à aspiration Thwaite.

16. Gazogènes à combustion renversée appartenant aux deux autres types. — Parmi les gazogènes à combustion renversée qui appartiennent aux deux autres types, nous décrirons ici les gazogènes de *Thwaite*, de *Hills et Lane*, de *M. Deschamps* et de *M. Letombe*, qui ont été particulièrement étudiés en vue de l'alimentation des moteurs : nous prions le lecteur de se reporter, pour la description des autres modèles de gazogènes, au remarquable ouvrage de *M. Deschamps* sur *les Gazogènes* (chap. x, *les Gazogènes à combustion renversée*).

17. Gazogène Thwaite à combustion renversée. — Dans le gazogène *Thwaite*, représenté sur la figure 100, l'alimentation d'air principale se fait par le haut du gazogène, en D, au moyen d'un orifice réglable par le registre F ; l'air complémentaire arrive par les orifices C, aux 2/3 environ de la colonne du combustible. Les gaz combustibles produits s'échappent par le bas, au travers du tube J, recouvert par un capuchon d'acier L et pourvu de barreaux N empêchant son obstruction. Ces barreaux plongent dans le joint hydraulique O, qui en abaisse la température au degré voulu pour les empêcher de brûler. Les cendres se retirent par ce bain, que complète le barrage Q empêchant le mélange des gaz avec l'air extérieur pendant ce décrassage. Les hydrocarbures distillés au haut du gazogène sont brûlés dans le parcours des gaz de C en J.

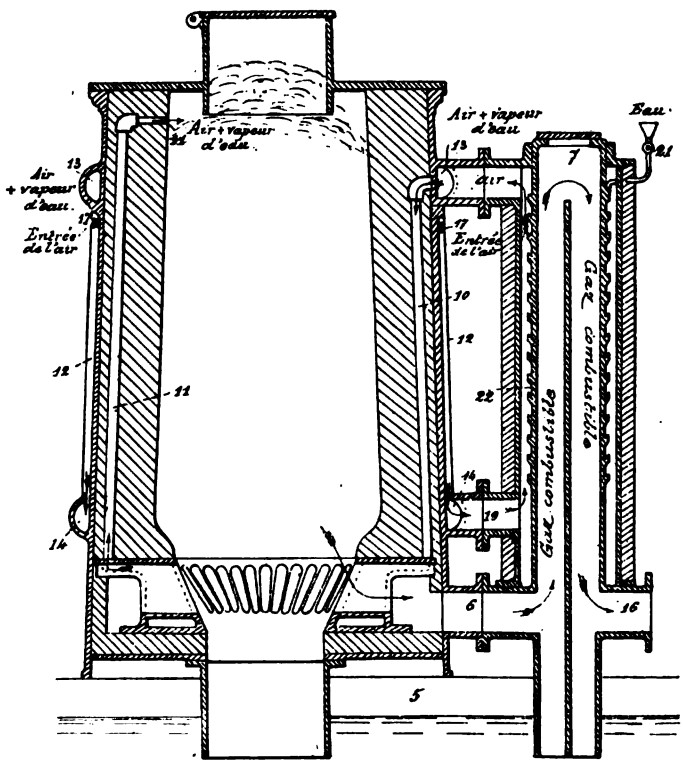
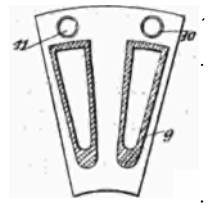


Fig. 101. — Gazogène Hills et Lane à combustion renversée.

18. Gazogène Hills et Lane à combustion renversée. — Pour faire arriver à *la partie supérieure du gazogène un mélange d'air et de vapeur d'eau porté à une température élevée*, *MM. Hills* et *Lane* munissent leur gazogène (construit par l'Engineering C°, Newton Iron Works, à Hyde) d'une grille à segments creux 9 (*fig.* 102),

Digitized by Google

avec tubulure d'entrée d'air 10 et de sortie 11. Les gaz aspirés du gazogène passent, suivant les flèches (*fig.* 101), de 6 à 16 en traversant le vaporisateur 7 ; l'air admis par les trous 17 dans l'enveloppe 12 passe par l'anneau 14 et le tuyau 19, autour du vaporisateur et au contact de ses nervures en spirale 22, le long desquelles se vaporise l'eau introduite par 21. Le mélange d'air et de vapeur passe par l'anneau 13 aux entrées des segments de grille, où il achève de s'échauffer. Il sort par les conduits 11 qui l'amènent à la partie supérieure du gazogène. Les scories tombent dans le bac d'eau 5.



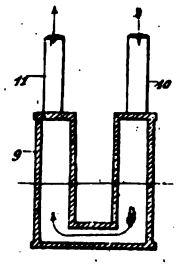


Fig. 102. — Grille creuse du gazogène Hills et Lane.

19. Gazogène Deschamps à combustion renversée. — Le gazogène *Deschamps* est représenté sur la figure 103. L'appareil fonctionne par aspiration, le gaz étant appelé par un ventilateur, ce qui permet d'ouvrir, en cas de besoin, les orifices en haut de la cuve et de piquer le combustible sans interrompre la marche de l'appareil. Celui-ci se compose essentiellement d'une cuve réfractaire *a*, entourée d'isolants *b* maintenus par une chemise en tôle *c*. Cette cuve est légèrement évasée de haut en bas dans la partie supérieure où se fait la combustion. Au-dessus de cette cuve est posée une large trémie en fonte *d*, bien protégée contre les pertes de chaleur et n'aboutissant pas au couvercle du gazogène. Cette trémie a pour but de recevoir le combustible et de le chauffer par conductibilité, au fur et à mesure de sa descente. *Elle doit être épaisse et faire volant de chaleur.*

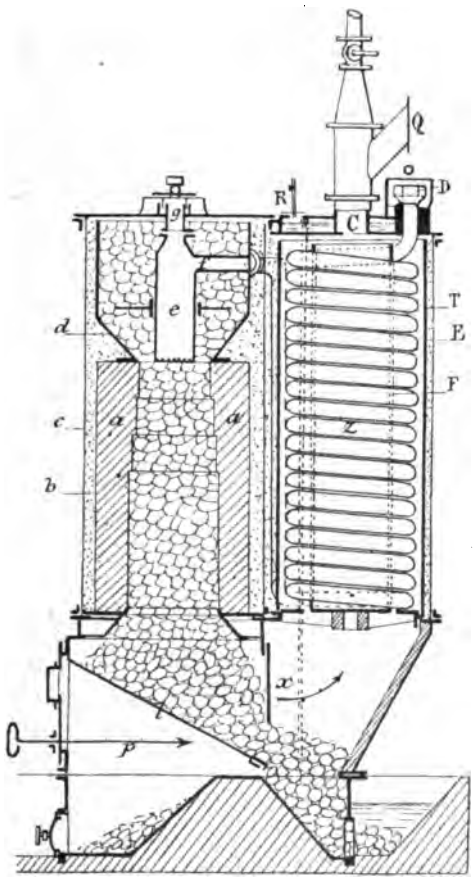


Fig. 103. — Gazogène Deschamps à aspiration et à combustion renversée.

Le courant d'air et de vapeur d'eau est introduit assez profondément dans le gazogène au moyen d'une bouteille en acier estampé.

L'air qui entre par cette bouteille a été chauffé au contact de la conduite *f*. La bouteille *e* permet en outre, par sa partie supérieure ouverte, le passage de ringards pour le piquage.

L'ouverture supérieure se continue par celle *g* du couvercle fermé la plupart du temps par un tampon. Le couvercle porte, en outre, trois autres ouvertures fermées par des tampons et permettant d'introduire le combustible et au besoin de le ringarder.

Le combustible doit, en général, être chargé humide, et même une disposition peut être ajoutée permettant d'introduire goutte à goutte de l'eau par le couvercle du gazogène, afin qu'elle se volatilise en même temps que se produit la distillation.

La partie basse du gazogène est entièrement métallique de façon à être étanche. Une

Digitized by Google

grille articulée *l* supporte le combustible. Des lances *p* dégagent les scories et les poussent vers le joint hydraulique par lequel on peut les enlever.

En *x* est figurée une grille à barreaux verticaux très larges, effilés et pendentifs, ayant pour simple but de maintenir les scories et de laisser passer les gaz combustibles, de façon à ce que ceux-ci, sortant ainsi que l'indique la flèche, soient le moins possible chargés de poussière.

En sortant du gazogène, les gaz traversent un récupérateur composé essentiellement d'un serpentin *z* en tube d'acier doux sans soudure. L'air pénètre par une ouverture R, munie d'un papillon de réglage, dans une chambre ménagée dans le couvercle du récupérateur et dans laquelle de l'eau est maintenue à un niveau constant, dans le but d'empêcher l'échauffement du couvercle C et de mélanger de la vapeur d'eau à l'air. Le mélange pénètre par la cloche étanche D, circule dans le serpentin *z* pour aboutir à la tubulure *f* du gazogène.

Le gaz qui passe en sens contraire est dirigé par deux chemises en fonte épaisse E, F, qui l'obligent à envelopper le serpentin. Les deux chemises et le serpentin reposent sur une grille. Tout l'ensemble est maintenu par une chemise réunie à celle du gazogène, et l'intervalle est comblé par des produits non conducteurs figurés en T. Les gaz s'échappent en Q, aspirés par un ventilateur.

Il convient de citer ici diverses expériences intéressantes faites par M. Deschamps avec ce gazogène (1).

On a alimenté le gazogène avec du charbon de Marles, l'un des charbons du Pas-de-Calais les plus riches en matières volatiles. On s'est servi de tout-venant contenant pas mal de fines, et l'on a ainsi marché pendant douze jours sans arrêts. On a constaté au bout de ce temps que les soupapes du moteur à gaz étaient en parfait état de propreté. La composition moyenne du gaz produit a été la suivante :

CO	14,7 0/0	CO^2	5,5 0/0
H	15,0	O	1,9
CH^4	3,7	Az	59,2

Pouvoir calorifique supérieur : 1.260 calories.

En soixante heures, il a été chargé 1.718 kilogrammes de charbon qui ont fourni à un compteur à gaz 6.907 mètres cubes, ce qui fait environ 4 mètres cubes de gaz par kilogramme de charbon. On a dépensé 2.473 mètres cubes pour produire 782 kilowatts, c'est-à-dire 618 kilogrammes de combustible, ce qui donne 790 grammes par kilowatt. Si l'on admet pour la dynamo un rendement de 83 0/0, la dépense en charbon par cheval fourni à la dynamo est

$$\frac{790 \times 0,83}{1,36} = 480 \text{ grammes.}$$

Sans vider le gazogène, on a continué en le chargeant avec du charbon de Seraing contenant 17 0/0 de produits volatils et 15 0/0 de cendres très fusibles. Ce charbon à coke n'avait jamais pu être employé dans un gazogène Dowson, parce qu'il gonfle, colle et que les mâchefers s'attachent aux parois. On a alimenté le gazogène pendant quatre jours et

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, septembre 1903 (*Revue de Mécanique*, t. XIV, mars 1904).

Digitized by Google

quatre nuits avec ce combustible sans qu'on ait eu à constater une difficulté de marche quelconque.

D'autres essais faits sur des lignites, de la tourbe brute de densité 0,625 expédiée de Saint-Pétersbourg par les usines franco-russes et contenant 25 0/0 d'humidité, ont donné des résultats satisfaisants.

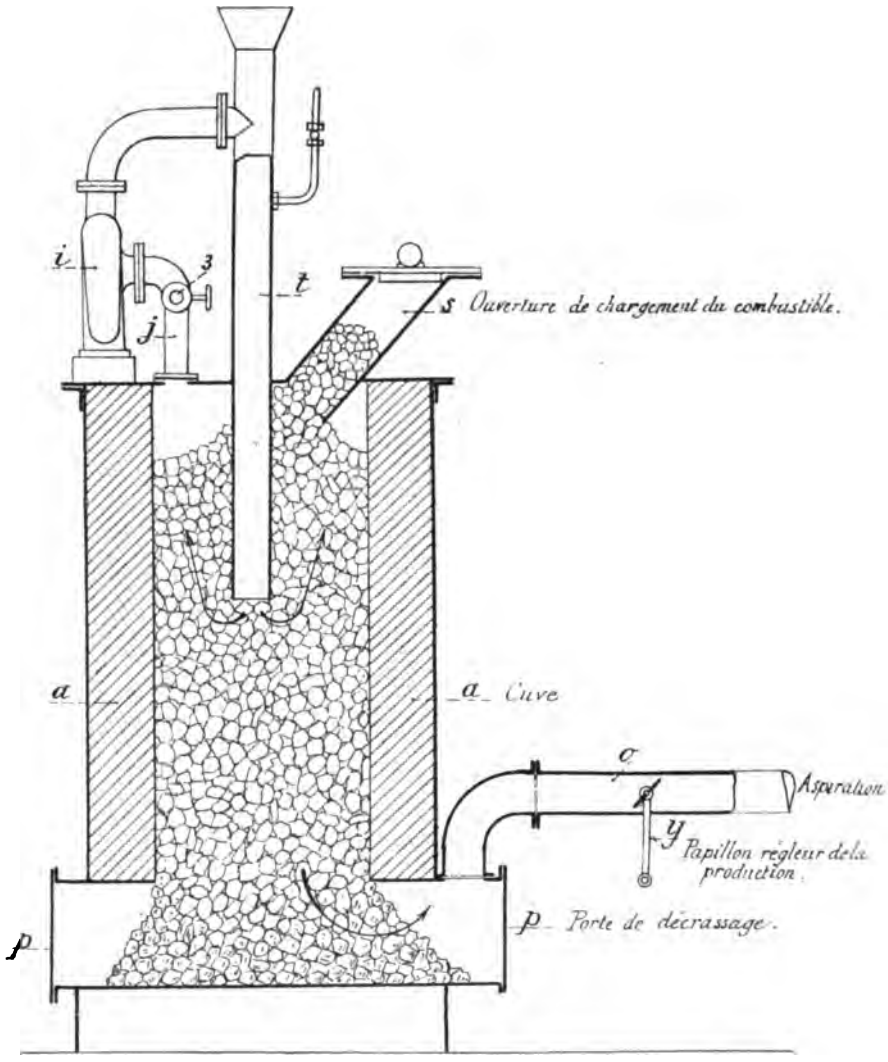


Fig. 104. — Gazogène Letombe à combustion renversée et à admission d'air centrale.

20. Gazogène Letombe à combustion renversée et à admission d'air centrale. — La figure 104 représente un gazogène *Letombe à combustion renversée*, qui présente des analogies avec celui de M. Deschamps. Toutefois, pour être bien certain que les hydrocarbures distillés se trouveront dans un milieu oxydant où ils subiront une combustion préalable avant de pénétrer dans les parties les plus chaudes de la cuve, M. Letombe aspire une partie de l'air arrivant par la tuyère *t* au moyen d'un ventilateur *i* en relation par le tuyau *j* et le robinet réglable 3 avec la partie supérieure de la cuve. Cet air aspiré par le ventilateur remonte dans la cuve et produit la combustion des hydrocarbures distillés. Les produits de cette combustion anticipée, refoulés dans la tuyère centrale, repassent dans la masse du gazogène.

Digitized by Google

21. Gazogènes à double combustion. — Comme nous venons de le voir dans ce qui précède, les gazogènes à combustion directe et les gazogènes à combustion renversée ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Les derniers permettent l'emploi de charbons donnant une grande quantité de matières volatiles, mais laissent échapper avec les cendres une grande quantité de combustible difficilement récupérable ; les gazogènes à combustion

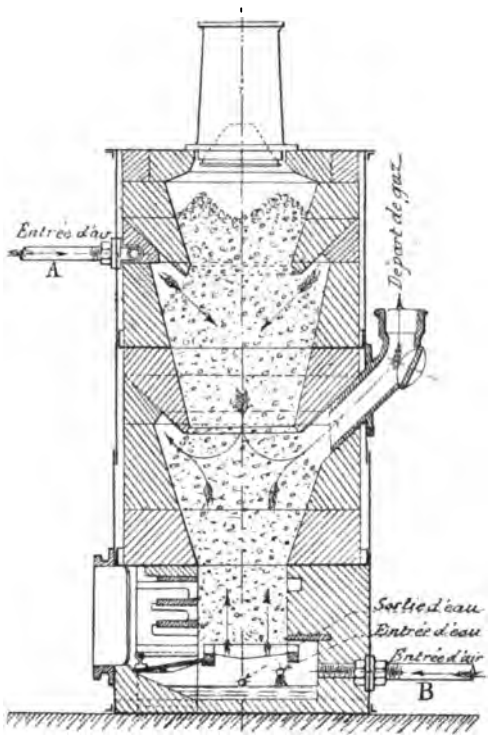


Fig. 105. — Gazogène Lencauchez à double combustion.

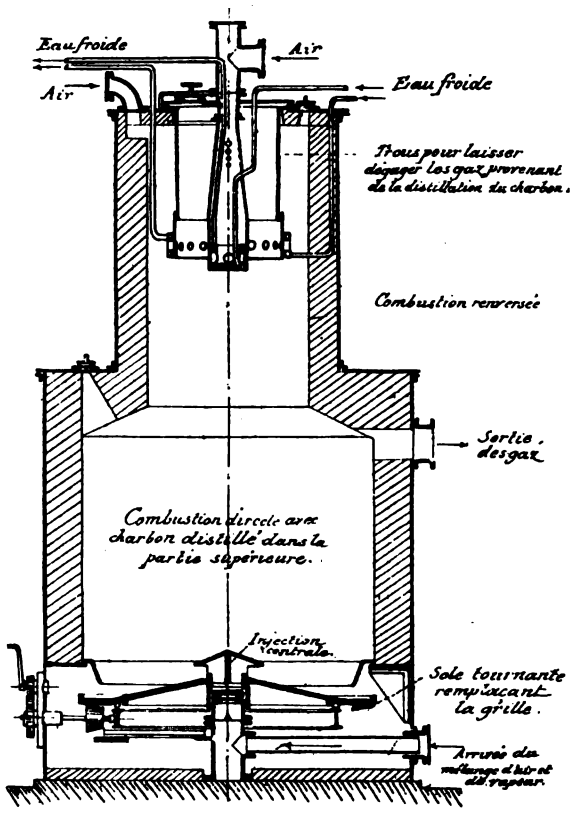


Fig. 106. — Gazogène Fichet et Heurtey.

directe, au contraire, brûlent en majeure partie leur combustible, mais ne donnent de bons résultats qu'avec les cokes peu cendreux et l'anthracite. Pour pouvoir employer des charbons donnant à la distillation une grande quantité de matières volatiles, tout en profitant des avantages de la combustion directe, on a songé à faire des *gazogènes à double combustion*. Ce sont des gazogènes soufflés ou aspirés en même temps par le haut et par le bas, avec sortie des gaz combustibles par le centre ou ventre. Parmi ces gazogènes, citons ceux de la *Gasmotoren Fabrik de Deutz* (1), de *M. Lencauchez* (2), de *Fleischer* (3), de *Fichet et Heurtey* (4), de *Letombe*.

22. Gazogène Lencauchez. — Le gazogène *Lencauchez* est représenté sur la figure 105. D'après M. *Lencauchez*, on obtient avec ce gazogène des gaz dont les goudrons *ne sont pas entièrement détruits dans la cuve du gazogène;* mais ces goudrons *se déposent facilement*

(1) *Revue de Mécanique*, t. XVII, novembre 1905, et t. XVI, mai 1905.
(2) *Id.*, t. XVI, mai 1905.
(3) *Id.*, t. XVI, mai 1905.
(4) *Id.*, t. XVII, novembre 1905.

Digitized by Google

dans les laveurs; le gaz préparé avec des combustibles bitumineux peut être obtenu assez pur pour être employé dans les moteurs après son passage dans les scrubbers.

23. Gazogène Fichet et Heurtey. — Le gazogène *Fichet et Heurtey* (*fig.* 106) se compose en réalité, de deux gazogènes : le *gazogène supérieur* à combustion renversée, où le charbon distille ses goudrons et hydrocarbures qui, mélangés à un grand excès d'air, sont détruits par leur passage sur la zone incandescente ; le *gazogène inférieur* à combustion directe, qui reçoit du combustible débarrassé de ces goudrons et matières volatiles.

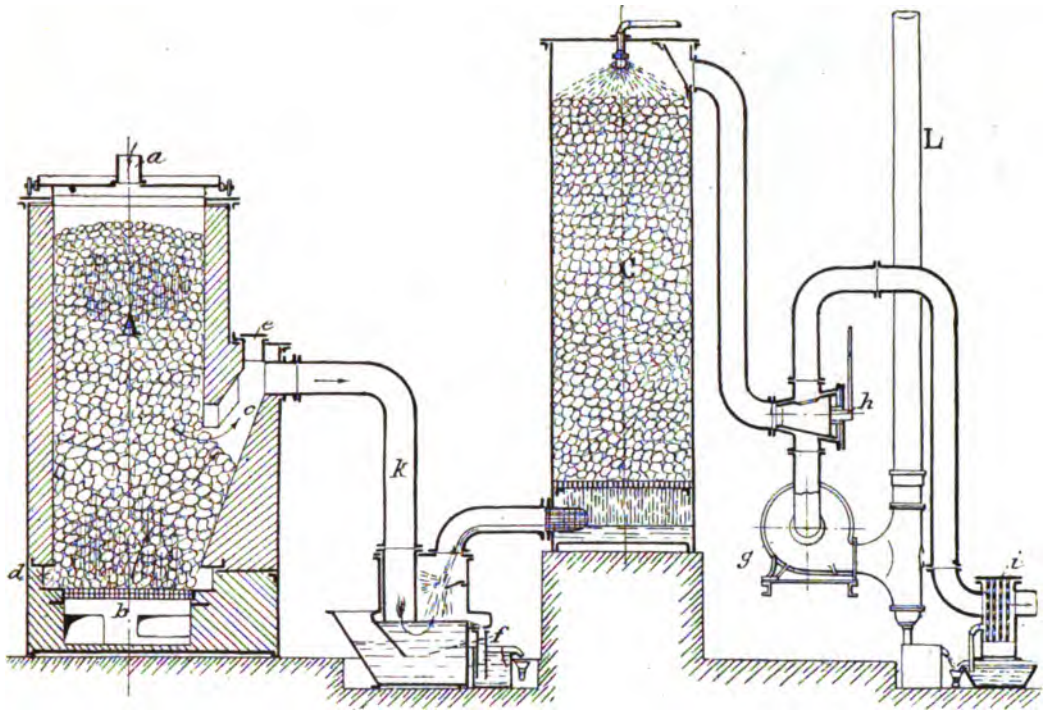


Fig. 107. — Gazogène Deutz à double combustion pour lignites.

Le combustible est, dès son entrée dans la partie supérieure du gazogène, guidé par des cloisons concentriques perforées pour la sortie des gaz et rafraîchies par une circulation d'eau qui les empêche de brûler.

24. Gazogène de Deutz. — Le gazogène de *Deutz* (1), représenté sur la figure 107, est destiné à l'utilisation des *lignites*. L'aspiration du moteur se fait de K au gazogène A, à la fois au haut et au bas de sa cuve, comme l'indiquent les flèches. Les gaz produits sortent par *c*, se lavent d'abord dans le barboteur *f*, alimenté d'eau par le scrubber C et qui forme joint hydraulique dès l'arrêt du gazogène. Du scrubber C, le gaz passe par le robinet à trois voies *h* au nettoyeur à tôles perforées *i* et au moteur. Pour la mise en train, le robinet *h* ferme le conduit de *i* et met *c* en communication avec le ventilateur aspirant *g* qui refoule le gaz d'amorçage en L et que l'on arrête dès que ce gaz y brûle convenablement. Aux arrêts, le gazogène brûle comme un poêle, avec une cheminée au centre du couvercle *a* monté sur roues pour faciliter le chargement. Le ringardage se fait par le trou *e*.

(1) *Revue de Mécanique*, t. XVII, 30 novembre 1905.
Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, t. XLIX, n° 47, 25 novembre 1905.

Digitized by Google

25. Gazogène Letombe. — M. *Letombe* a construit un gazogène qui appartient à la fois au type à double combustion que nous venons d'étudier et au type dans lequel on ramène au-dessous de la grille les produits distillés à la partie supérieure.

Ce gazogène, représenté sur la figure 108, se compose d'une cuve cylindrique en maçonnerie *a* terminée à sa partie inférieure par une grille verticale *r*; la partie supérieure se compose d'une partie légèrement tronconique *b*, dont le diamètre inférieur est plus petit que celui de la cuve *a*. La cuve *b* est surmontée d'un chargeur à double fermeture *s*. Les maçonneries du

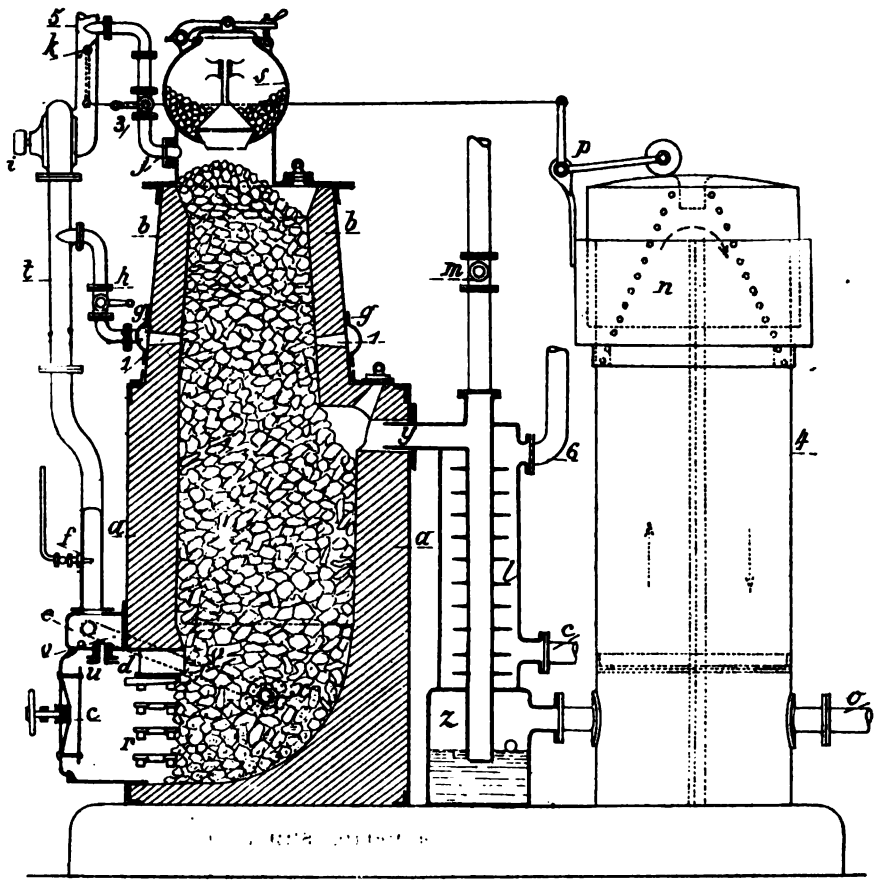


Fig. 108. — Gazogène Letombe à double combustion.

gazogène sont enfermées dans une garniture métallique. Le foyer proprement dit C est constitué par une ou plusieurs caisses en fonte avec porte de décrassage donnant une fermeture étanche en marche. Le ciel du foyer est garni d'une pierre réfractaire amovible *d*.

L'appareil fonctionne de la manière suivante.

Le régime étant établi, le gazogène reçoit le vent soufflé d'un ventilateur *i* dont la conduite de refoulement *t* débouche dans la capacité *e* qui surmonte le foyer; de là, l'air passe, d'une part, au foyer à travers un bouchon *u* percé d'un trou et, de l'autre, se rend par une tuyauterie *v* à deux tuyères *x* qui se trouvent de chaque côté du gazogène. Ces tuyères ont pour but d'amener le vent jusque dans l'axe de l'appareil, tout en permettant un nettoyage facile du foyer.

La tuyauterie de vent soufflé *t* reçoit, en *f*, une injection d'eau pénétrant par un ajutage qui entre jusqu'à l'axe de la conduite. Dans ces conditions, l'eau injectée pénètre avec l'air dans l'appareil à l'état de brouillard ; le passage, à travers la colonne du combustible, du vent

Digitized by Google

chargé d'humidité détermine la formation du gaz pauvre qui s'échappe par la conduite *y*.

Ces dispositions suffisent dans le cas d'emploi de combustibles sans produits de distillation.

Pour l'*utilisation des combustibles riches en matières volatiles*, l'appareil est surmonté d'une cuve *b* entourée, vers sa base, d'une collerette *g* en communication par le robinet *h* réglable à la main avec la tuyauterie de vent. Cette collerette *g* communique avec la cuve *b* par des orifices 1, 1 ; d'un autre côté, le dessous du chargeur est en communication, par un tuyau *j*, muni d'un robinet réglable 3, avec l'aspiration de la soufflerie. Il résulte de ces dispositions qu'une partie du gaz produit, au lieu de s'en aller par l'orifice *y*, monte dans la cuvette *b*. Ce gaz, rencontrant une légère injection d'air par les trous 1, brûle et échauffe par contact direct le charbon qui se trouve dans la cuve *b*, ce qui détermine la distillation rapide des matières volatiles et leur combustion au moins partielle.

Les produits de cette combustion anticipée sont, par la tuyauterie *j*, réaspirés par le ventilateur et refoulés sous la grille du gazogène à l'état de mélange avec le vent soufflé ; l'acide carbonique produit et les carbures, s'il en reste, se trouvent ainsi transformés en gaz combustibles, en traversant la cuve *a*.

Le procédé présente, en outre, l'avantage de permettre d'injecter dans le gazogène un air chauffé par les produits de la combustion anticipée, ce qui facilite la vaporisation de l'eau d'injection.

Les gaz ainsi produits, en sortant du gazogène par la tubulure *y*, se rendent par une colonne descendante *l*, à double enveloppe et à nervures, dans un barillet *z*. De là, les gaz passent dans une colonne à coke 4 à double compartiment et s'échappent par l'orifice 0 pour être utilisés.

Si on relie le tuyau 5 au tuyau 6, la double enveloppe de la colonne *l* contribue à chauffer le vent soufflé au gazogène aux dépens de la chaleur perdue par les gaz ; dans ce cas, l'air aspiré par le ventilateur *i* entre par le tuyau *c*, s'échauffe au contact des nervures et, par le tuyau 6, se rend dans le tuyau 5.

Le tuyau 5 prolongé permet, d'autre part, de prendre l'air autour du pot d'échappement du moteur.

La colonne à coke est surmontée d'un compensateur *n* équilibré à la pression atmosphérique, soit par un ressort, soit par un contre poids, comme l'indique le dessin. Ce compensateur n'est autre qu'une espèce de couvercle mobile à joint hydraulique.

Lorsque la conduite 0 se trouve reliée à un moteur, l'aspiration produite par celui-ci tend à créer une dépression dans la colonne à coke. Sous l'influence de cette dépression, le compensateur s'enfonce dans son joint hydraulique ; un levier *p* placé à la partie supérieure suit son mouvement. Un renvoi d'équerre partant de ce levier vient actionner un papillon *k* qui se trouve dans la tuyauterie d'aspiration du ventilateur et dont le mouvement a pour effet de laisser un passage d'autant plus libre que le levier *p* est plus descendu.

Dès que l'aspiration du moteur cesse, le compensateur remonte ainsi que le levier *p* et l'obturateur *k* se ferme. Il résulte de cette commande que, dès que le moteur tend à produire une dépression dans les appareils, cette dépression est immédiatement compensée par l'action du ventilateur, de façon à maintenir tous les appareils à une pression voisine de la pression atmosphérique. Il n'y a donc à craindre ni fuites de gaz, ni rentrées d'air.

L'action du compensateur sur l'aspiration a pour effet de donner un réglage automatique de la combustion préalable. En effet, lorsque le papillon *k* est en partie fermé, la dépression à l'aspiration est moindre et, par conséquent, le tirage sur la cuve *b* diminue. D'autre part, à ce moment, le ventilateur refoulant une quantité d'air moindre, l'injection d'air

Digitized by Google

dans la cuve *b* se trouve également diminuée ; enfin, le courant d'air sur l'injecteur *f* étant moins vif, il y a aussi moins d'eau entraînée, et si, d'ailleurs, il y avait de l'eau en excès, elle s'écoulerait par l'orifice 2.

26. Gazogènes à deux cuves. — Avant l'emploi de la double combustion dans une même cuve, les inconvénients inhérents aux gazogènes à combustion renversée avaient suggéré l'emploi de *gazogènes à deux cuves*. La première, chargée de combustible frais, reçoit l'air primaire par le bas; elle marche donc en combustion directe. Les gaz de combustion et de distillation provenant de cette première cuve pénètrent par le haut dans une seconde cuve chargée de coke au rouge, ayant pour mission d'épurer les gaz de distillation.

Ce coke au rouge est le résultat de l'opération précédente, dans laquelle la seconde cuve recevait le charbon frais et marchait en combustion directe. Il faut donc intervertir alternativement la marche des deux cuves par un jeu de vannes, ce qui complique les opérations; de plus, les gaz obtenus par ces renversements périodiques sont de qualité variable.

On a cherché à obvier à ces deux inconvénients en supprimant tout renversement de combustion : la première cuve, à combustion directe, est alimentée de charbons frais riches en produits volatils; la deuxième est alimentée de coke. Mais il se présente une autre difficulté, celle de maintenir la colonne de coke à une température suffisamment élevée. En effet, les réactions qui s'y produisent au passage des gaz de distillation sont endothermiques et la seule source de chaleur est celle qui est apportée par les gaz de la première cuve.

Enfin, même avec des gazogènes réversibles, il ne semble pas que la destruction du goudron soit complète dans la seconde cuve. Les gaz de distillation ne se trouvent pas en présence d'un excès d'air et nous avons vu que c'est là une condition importante à réaliser pour la destruction des goudrons. Toutefois, *M. Lencauchez* (1) fait remarquer que, dans certains cas, les goudrons subissent, par l'action de la seconde cuve, une transformation qui leur donne la propriété de n'être plus un obstacle à la bonne marche des moteurs.

27. Charbons que l'on peut employer dans un gazogène à cuve. — Dans les gazogènes à cuve que nous venons d'étudier, on ne peut employer que des charbons qui ne forment pas de voûte, de chambre ou de suspension de charge. Tels sont les *cokes*, les *anthracites*, les *houilles anthraciteuses*, les *houilles d'Écosse*, dites *splint coal* (houilles ligniteuses); les *lignites*, les *tourbes*, le *bois* scié en petits blocs de $0^m,100$ à $0^m,150$ au plus; les *briquettes de poussiers d'anthracite*, *de coke*, *de houilles maigres*, *de lignites*, *de tourbes*, etc..., si elles sont faites avec des combustibles ne collant pas au feu et si elles ont assez peu de brai pour ne pas se coller entre elles.

28. Charbons qui ne peuvent être employés dans les gazogènes à cuve. — Mais il ne faut pas songer à employer dans ces gazogènes à cuve les *tout-venant de houilles bitumineuses et collantes*, les *houilles à coke* donnant des voûtes de coke qui, souvent en moins d'un jour, forcent, par le bloc impénétrable qu'elles forment, à la mise hors de feu, et quelquefois à un démontage partiel. Il convient également d'écarter l'emploi dans les gazogènes à cuve de *poussiers anthraciteux* qui ne se laissent pas pénétrer par le vent sous des pressions de $0^m,50$ à 1 mètre d'eau. Dans ce cas, en effet, même avec l'injection centrale du vent et la prise centrale du gaz, le vent gagne les parois de la cuve et s'insinue entre ces

(1) Lencauchez, *les Gaz combustibles et les Moteurs à gaz* (*Bulletin trimestriel de la Société de l'Industrie minérale*, 4e série, t. IV, 1re livraison 1905, p. 89).

Digitized by Google

parois et le combustible, qui brûle en partie en ne donnant que de l'anhydride carbonique : il se forme à la circonférence un anneau rouge de combustion de 25 à 30 millimètres d'épaisseur et la masse du combustible reste noire et inerte (1).

L'emploi de ces combustibles nécessite la construction de gazogènes du type établi par *Ebelmen* en 1842.

29. Gazogènes à combustibles multiples. — Gazogène Lencauchez. — La figure 109 représente un gazogène capable d'utiliser de tels combustibles et fonctionnant à combustibles multiples; il est dû à *M. Lencauchez* (2).

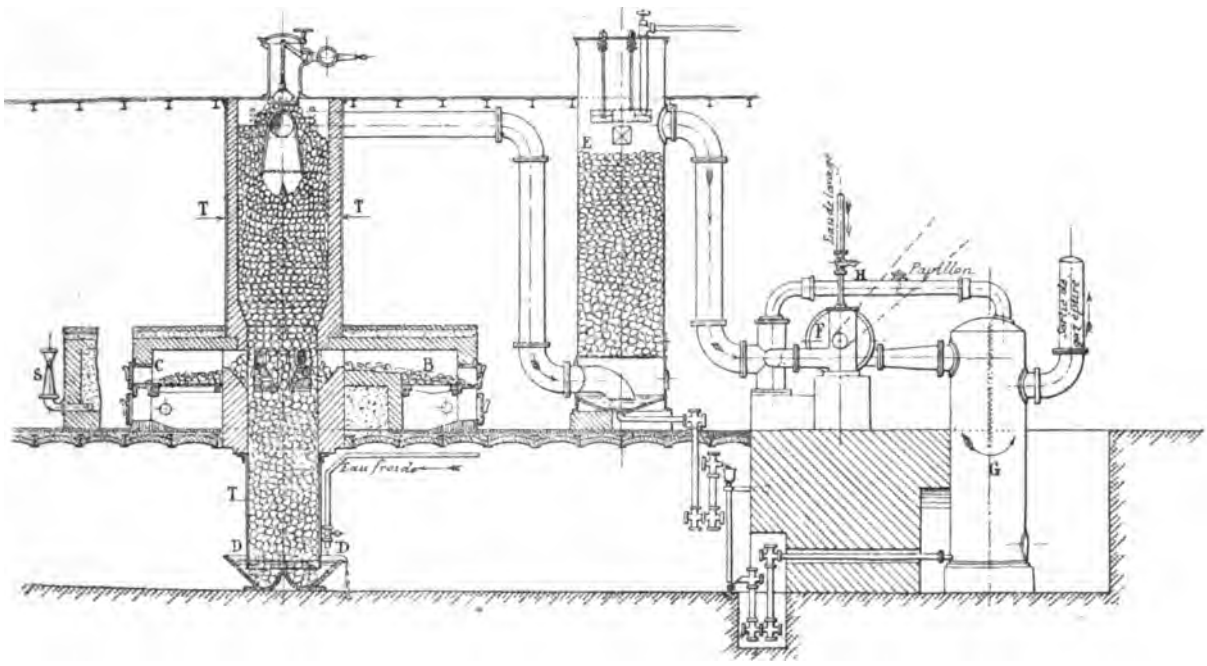


Fig. 109. — Gazogène Lencauchez à deux, trois, quatre combustibles (utilisation de déchets divers).

A, Colonne à coke à joint hydraulique : — B, Foyers à houille, qualité à coke : — C, Foyers à poussiers maigres anthraciteux très lourds, à grille américaine, plaque à trous ; — D, Cuvette-vasque du joint hydraulique par où on retire les cendres et grésillons de coke ; — H, By-Pass ou dérivation permettant au gaz de ne pas passer par l'aspirateur F ; — E, Laveur-scrubber, colonne à gros coke, 60 millimètres de grosseur ; — F, Aspirateur-laveur centrifuge ; — G, Cylindre sécheur du gaz après lavage et épuration ; — S, Souffleurs à vapeur ; — T, Enveloppe en tôle étanche.

Sur des grilles spéciales représentées en B et C, on brûle des houilles bitumineuses ou des poussiers maigres ou anthraciteux. Les goudrons et les gaz produits sur ces grilles passent alors à l'intérieur d'une colonne à coke portée à haute température, qui joue le rôle d'épurateur. La prise de gaz centrale s'oppose à la formation de mélange tonnant dans le cas d'une rentrée d'air; celui-ci, passant sur du coke rouge, donne de l'anhydride carbonique ou de l'oxyde de carbone.

30. Gazogène Hovine-Breuillé. — Le gazogène Hovine-Breuillé (3), représenté sur la figure 110, est un gazogène à deux combustibles du type Lencauchez. Sur la grille Y on brûle des déchets et poussiers de coke ; les gaz passent alors dans la chambre B remplie de coke porté au rouge. La vapeur fournie par la chaudière M vient par la tuyauterie O, par le surchauffeur C, déboucher en Z au-dessous de la grille; le ventilateur soufflant T envoie

(1) Lencauchez, *Études sur divers gaz combustibles*, 2e partie, p. 35 (Paris, Bernard Tignol, 1902).
(2) Id., *Bulletin de l'Industrie minérale*, 1905.
(3) *Revue de Mécanique*, t. XVI, mai 1905, p. 463 ; t. XVII, novembre 1905, p. 470.

Digitized by Google

par la tuyauterie P de l'air qui s'échauffe en passant en D; cet air sort en *a*, se mélange à la vapeur et vient sous la grille. Les gaz produits qui ont traversé la colonne à coke B sortent

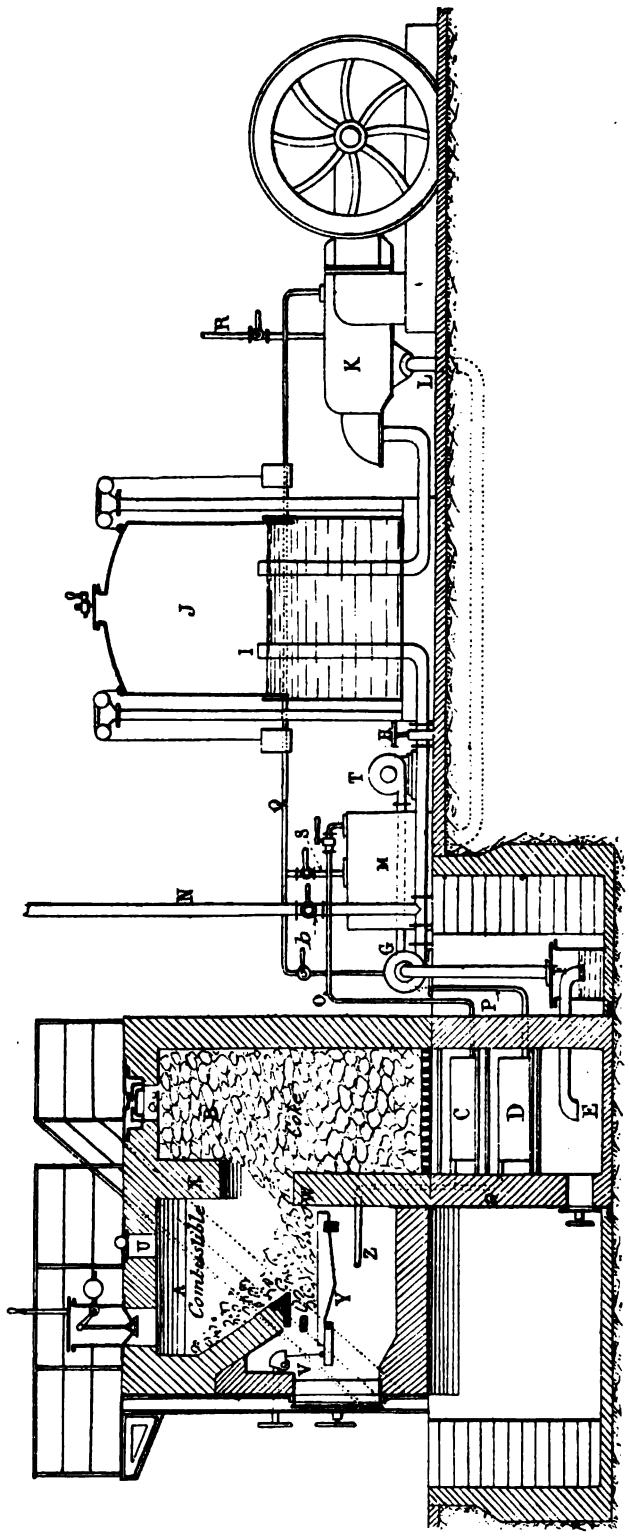


FIG. 110. — Système Hovine-Breuillé, schéma du gazogène et des appareils accessoires.

A, Gazogène proprement dit; — B, Chambre régulatrice; — C, Surchauffeur de vapeur; — D, Surface de chauffe d'air; — E, Départ de gaz; — F, Joint hydraulique; — G, Ventilateur aspirant; — H, Vanne du gazomètre; — I, Arrivée du gazomètre; — J, Gazomètre; — K, Moteur; — L, Échappement des gaz du moteur; — M, Chaudière; — N, Départ à l'air libre; — O, Tuyauterie de vapeur; — P, Tuyauterie d'air; — Q, Tuyauterie d'eau chaude; — R, Arrivée d'eau froide au moteur; — S, Arrivée d'eau chaude à la chaudière; — T, Ventilateur soufflant; — U, Trou de piquage du feu; — V, Mouvement de grille; — W, Autel; — X, Cloison; — Y, Grille spéciale à bascule; — Z, Arrivée de vapeur sous la grille; — *a*, Arrivée d'air chaud sous la grille; — *b*, Vanne de départ à l'air libre.

par le conduit E, appelés par le ventilateur aspirant et soufflant G, et se rendent par H et I dans le gazomètre J. L'emploi de ce ventilateur G aspirant dans le générateur et soufflant

Digitized by Google

dans le gazomètre, et dont la marche est conjuguée avec le ventilateur T soufflant sous la grille, permet de maintenir la *pression atmosphérique dans le générateur*. On peut alors ouvrir autant de trous de piquage que l'on veut sur le générateur, voir et travailler la couche de combustible en ignition, sans avoir à craindre les sorties de gaz ni les rentrées d'air.

Nous avons vu plus haut que M. Letombe avait réalisé par une autre méthode élégante le maintien de l'intérieur de la cuve à la pression de l'atmosphère.

Diverses expériences ont été faites avec les combustibles suivants : *coke tout-venant*, *coke menu*, *grésillon*, *mélange* de ces diverses qualités en toutes proportions; *poussier de coke* mélangé à moitié de son poids de *fines de houille à gaz*, mélange dit *refus de la pelle à grille*(1) formé d'environ :

Petit coke	17 0/0
Grésillon	25
Poussier menu	25
— fin	33

Tous ces combustibles ont donné des résultats excellents. Le refus de pelle à grille a fourni, en particulier, des résultats intéressants par la facilité de conduite du gazogène, la qualité du gaz obtenu et la faible dépense par cheval-heure avec un combustible aussi médiocre.

A la réunion de la *Société Technique de l'Industrie du Gaz* (le Havre, juin 1905), M. Hovine a indiqué une installation de son gazogène pour une puissance de 500 chevaux qui marche actuellement aux mines de Béthune avec de très mauvais combustibles (schlamms de lavage et charbons très schisteux) que l'on ne peut songer à transporter et qu'il faut consommer sur place.

(1) Voir Mathot, *Manuel pratique des Moteurs à gaz et Gazogènes*, p. 200, la figure 136 représentant une pelle à grille.

Digitized by Google

CHAPITRE VII

GAZOGÈNES ALIMENTÉS AVEC DES COMBUSTIBLES RICHES EN AZOTE RÉCUPÉRATION DES SOUS-PRODUITS GAZOGÈNE MOND. - GAZOGÈNE DUFF[1]

1. Récupération des sous-produits. Tourbe et bois. — Charbons bitumineux riches en azote. — Production d'AzH³. — Dans le chapitre précédent, nous avons étudié une installation due à M. Lencauchez permettant la récupération des sous-produits au moyen de lavages méthodiques des gaz du gazogène avec des eaux à des températures différentes. Dans son ouvrage sur *les Combustibles*, ce savant ingénieur a vivement préconisé l'emploi des gazogènes comme appareils de distillation avec récupération des sous-produits lorsqu'il s'agit de *tourbe* et de *bois*.

Il est relativement facile de distiller ces combustibles à basse température, c'est-à-dire dans des conditions où les sous-produits ne sont pas décomposés. Mais le problème présente les plus grandes difficultés avec les *charbons bitumineux riches en azote*, quand on veut recueillir les produits ammoniacaux fournis par la distillation. Il a cependant été résolu pa M. Mond, qui a fait, dans ses usines de Northwich (Angleterre), une installation très considérable dont il a été beaucoup parlé.

La distillation de charbons spéciaux riches en azote, et leur décomposition par la vapeur d'eau à une température ne dépassant pas 400°, donne naissance à de l'ammoniaque que l'on a intérêt à recueillir à cause de son prix élevé.

2. Réalisation de l'allure froide du gazogène dans l'emploi des charbons bitumineux. — Grand excès de vapeur d'eau. — Pour réaliser l'*allure froide*, qui seule peut rendre possible l'utilisation dans un gazogène à cuve des charbons bitumineux, M. Mond fait passer dans la cuve *cinq fois plus de vapeur d'eau que le charbon ne peut en décomposer* (environ 2 tonnes et demie de vapeur par tonne de houille). *Une petite partie de cette vapeur se décompose seule au contact du combustible; le reste ne se trouve pas à une température suffisamment élevée pour que les réactions endothermiques se produisent.* Cette

(1) Deschamps, *les Gazogènes*, p. 341.
A. Witz, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. I, p. 215.
R. Schöttler, *Mond-Gas* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*. t. XLV, 1901, p. 1593).

Digitized by Google

portion de la vapeur d'eau joue donc seulement un *rôle de diluant analogue au rôle joué par l'azote;* elle entraîne les gaz produits en les empêchant de s'échauffer assez pour qu'ils subissent une décomposition.

Cet excès de vapeur d'eau se condense à la sortie des gaz dans un récupérateur qui permet de chauffer l'air primaire injecté sous la grille.

Les gaz chargés de produits ammoniacaux sont reçus dans des appareils spéciaux d'absorption qui permettent de recueillir la majeure partie de ces produits. Les gaz purifiés peuvent alors être employés à l'alimentation des moteurs.

3. Générateur Mond. — Le générateur *Mond* est représenté sur la figure 111. La partie inférieure de cette cuve haute et vaste est constituée d'abord par des étalages en maçonnerie, puis par une grille tronconique *a* qui prolonge en quelque sorte ces étalages. Le bas *b* de l'appareil vient plonger au-dessous du niveau de l'eau contenue dans un bassin; on a ainsi un joint hydraulique. Les cendres tombent dans le bassin inférieur et en sont retirées sans interrompre la marche du gazogène. Le charbon est amené, par des wagons, sur un plancher supérieur, d'où il se rend dans les trémies *d*, sorte d'entonnoir très vaste et dont l'ouverture inférieure est fermée par une vanne placée précisément au-dessus des portes de chargement des générateurs. Pour des gazogènes gazéifiant de 20 à 24 tonnes de tout-venant par vingt-quatre heures, on charge à la fois de 400 à 500 kilogrammes.

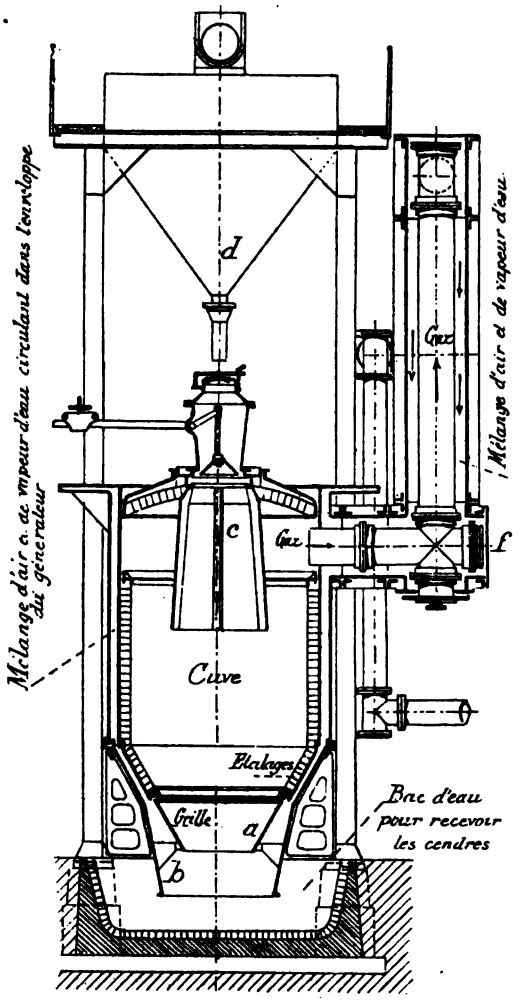


Fig. 111. — Générateur Mond.

Des vannes spéciales sont disposées pour permettre l'introduction de ce charbon dans le générateur; celui-ci est surmonté d'une petite trémie fermée en haut par un tampon et en bas par un cône mû par un levier, le tout aboutissant à une sorte d'enveloppe conique *c* qui maintient le charbon au centre du gazogène. Ce combustible s'échauffe et commence à distiller, grâce aux gaz produits qui circulent autour de l'enveloppe *c*. Les carbures d'hydrogène provenant de cette distillation sont, par ce dispositif, forcés de gagner la zone chaude du gazogène, où les goudrons se détruisent en partie. Les gaz sortant par *f* contiennent ainsi peu de goudrons.

4. Gazogène Mond. — Récupérateur. — Tour d'absorption des produits ammoniacaux. — A leur sortie de la cuve, ces gaz circulent dans le tube intérieur d'un réchauffeur B (*fig.* 112) construit de telle manière que le mélange d'air et de vapeur d'eau envoyé au générateur circule dans la partie annulaire en sens inverse des gaz du générateur et s'échauffe. Les gaz arrivent donc déjà refroidis dans le laveur C, où des roues à aubes

Digitized by Google

projettent une pluie d'eau que les gaz se trouvent obligés de traverser. Ils sont ainsi refroidis jusqu'à environ 90°, non seulement par contact avec l'eau, mais encore grâce à ce que cette eau se volatilise dans de grandes proportions.

Le mélange de gaz et de vapeur se trouve alors amené au bas d'une grande tour D, qu'il traverse de bas en haut en rencontrant du sulfate acide d'ammoniaque (1); celui-ci est distribué à la partie supérieure en un grand nombre de jets.

Le gaz sortant du haut de la tour D, où le sulfate acide d'ammoniaque retient une très grande proportion des sels ammoniacaux, est ensuite conduit au bas d'une tour F, où il est lavé par un courant d'eau froide qui tombe de haut en bas.

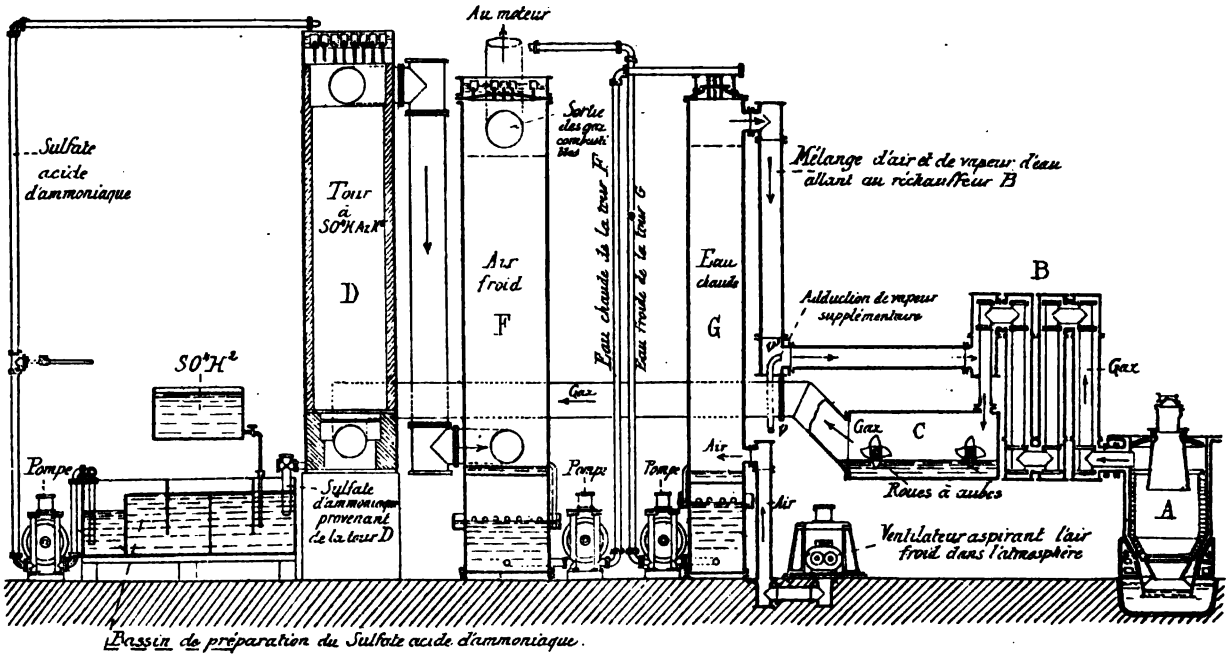


Fig. 112. — Schéma d'une installation de production de gaz Mond.

Enfin, avant d'arriver au moteur, le gaz traverse un filtre à sciure de bois où il se sèche. Le contenu de ce filtre n'a besoin d'être changé qu'une fois par mois.

L'eau qui a parcouru de haut en bas la seconde tour F arrive, à la partie inférieure de celle-ci, à une température assez élevée. Elle est alors entraînée par une pompe au haut d'une troisième tour G, où elle tombe en pluie sur l'air froid qui est puisé dans l'atmosphère et refoulé par un ventilateur, comme le montre la figure 112. Cet air, ainsi chauffé, se charge de vapeur d'eau. Le mélange d'air et de vapeur d'eau qui sort de la tour G est additionné d'une nouvelle quantité de vapeur d'eau qui arrive par le conduit *vv'*. Ce mélange, très riche en vapeur d'eau, se rend dans le récupérateur B où il se surchauffe.

Quant à l'eau refroidie par sa descente dans cette troisième tour G, elle est envoyée par une autre pompe dans le haut de la seconde tour F, qui sert au refroidissement des gaz.

Au moment de l'allumage d'un générateur, il convient de chauffer pendant deux ou trois jours. On commence avec des déchets de bois et de coke et on ajoute peu à peu du charbon en petits morceaux. On laisse le gaz s'échapper sous un faible soufflage jusqu'à ce qu'il contienne environ 30 0/0 d'éléments combustibles. Un tel générateur fonctionne une année sans s'arrêter.

(1) Formé d'un mélange de sulfate d'ammoniaque et d'acide sulfurique dans une proportion telle qu'il y ait environ 47 0/0 d'acide sulfurique libre; l'acide sulfurique pur donnait des résultats moins satisfaisants au point de vue de l'absorption de l'ammoniaque des gaz du gazogène.

Digitized by Google

5. Expériences d'Humphrey sur le fonctionnement d'un gazogène Mond. — Voici, d'après les recherches d'Humphrey en 1895, un exemple du fonctionnement de cet appareil.

Trois mille kilogrammes d'air sont soufflés *par tonne de charbon* dans la tour à air G, où ils se chargent de 1.000 kilogrammes de vapeur et s'échauffent à 70°. A ce mélange, on ajoute en outre 1.500 kilogrammes de vapeur, de telle sorte que 5.500 kilogrammes d'un mélange d'air et de vapeur entrent à 85° dans le réchauffeur B et en sortent à 250°. Dans le générateur, ce mélange se transforme en un autre mélange pesant 6.500 kilogrammes, dont 4.500 kilogrammes de gaz et 2.000 kilogrammes de vapeur; sa température à la sortie est égale à 450°. Il y a donc seulement 500 kilogrammes de vapeur décomposée, soit 20 0/0. Dans le réchauffeur à contre-courant B, la température de ce mélange devient égale à 280°; elle tombe à 90° dans le laveur C; là le mélange se charge de 750 kilogrammes de vapeur d'eau; son poids est alors de 7.250 kilogrammes, dont 4.500 kilogrammes de gaz et 2.750 kilogrammes de vapeur d'eau. Le mélange arrive dans cet état à la base de la tour à sulfate acide d'ammoniaque; sa teneur en vapeur d'eau est égale à 38 0/0; il est donc loin d'être saturé, la teneur en vapeur d'eau correspondant à la saturation étant égale à 64 0/0 (1). *C'est là une condition de fonctionnement qui a son importance, car le gaz saturé abandonnerait une partie de son eau dans la tour D, ce qui diluerait le sulfate acide d'ammoniaque et rendrait plus difficile l'absorption des composés ammoniacaux contenus dans les gaz.* Dans la tour D, la température du mélange gazeux baisse à 80°, dans la tour refroidissante F à 65°; là 1.500 kilogrammes de vapeur se condensent. La tour F fournit donc, par tonne de combustible introduite dans le gazogène, 5.750 kilogrammes de gaz contenant environ 1.250 kilogrammes de vapeur d'eau, c'est-à-dire du gaz saturé.

L'eau froide de la tour F arrive à 50° et en sort à 80° pour être ramenée à nouveau à 50° dans la tour G. Dans la tour D, la solution ne s'échauffe que très peu; elle est à environ 80°.

Le charbon employé dans les expériences a la composition suivante.

Puissance calorifique absolue supérieure = 7.225 calories-kilogrammes.

Carbone	67,9 0/0
Azote	1,3
Soufre	1,3
Hydrogène et oxygène	14,7
Eau hygroscopique	7,3
Cendres	7,5

Le gaz obtenu présente, à l'état sec, la composition suivante.

Pouvoir calorifique supérieur = 1.320 calories-kilogrammes.
Poids à 0° sous la pression de 760 millimètres = 1^{kg},015 par mètre cube.

CH^4	2,5 0/0
H	26,4
CO	10,2
CO^2	16,3
Az	44,6

(1) A 90°, la tension maxima de la vapeur d'eau est de 525 millimètres; si le mélange était saturé à la pression de 760 millimètres, le gaz sec aurait donc une tension de 235 millimètres. Un mètre cube de gaz Mond pèse environ 1 kilogramme à 0° et sous la pression de 760 millimètres; il pèse 0^{kg},241 à 90° sous la pression de 235 millimètres. Un mètre cube de vapeur saturée à 90° pèse 0^{kg},427. La teneur en vapeur d'eau est donc

$$\frac{427}{427 + 241} = 0,64.$$

Digitized by Google

Un kilogramme de ce charbon fournit $4^{m3},43$ de gaz. Le rapport entre la quantité de chaleur dégagée par la combustion de $4^{m3},43$ de gaz et la quantité de chaleur dégagée par le charbon qui a produit ce volume gazeux est

$$\frac{4,43 \times 1320}{7225} = 0,81.$$

Ce nombre ne représente pas le rendement de l'installation, car il faut produire de la vapeur et du travail pour actionner les pompes (1).

Admettons qu'avec le combustible médiocre employé, 1 kilogramme de combustible ne vaporise que 7 kilogrammes d'eau. On compte que, *par tonne de combustible chargé au gazogène, il faut produire* 1.500 *kilogrammes de vapeur.* Donc, par kilogramme de charbon chargé au gazogène, il faut brûler sous des chaudières $\frac{1,50}{7}$ kilogramme de charbon.

Pour actionner les pompes, on compte *qu'il faut* 34 *chevaux-heure* par tonne de combustible chargé au gazogène. Admettons qu'elles soient commandées par un moteur à gaz dépensant $2^{m3},5$ de gaz Mond par cheval-heure ; il faut $0^{kg},6$ de charbon pour produire ce volume de gaz. Pour la commande des pompes, il faut donc brûler, par kilogramme de combustible chargé au gazogène, $0,6 \times 0,034$ de charbon.

Le rendement calorifique supérieur du gazogène est donc (2) :

$$\frac{4,43 \times 1320}{\left[1 + \frac{1,50}{7} + 0,034 \times 0,6\right] 7225} = \frac{4,43 \times 1320}{1,24 \times 7225} = 0,65.$$

Outre le gaz, on fabrique à Winnington 44 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque par tonne de combustible introduit au gazogène. Comme le sulfate contient de 24 à 25 0/0 d'ammoniaque, on extrait environ par tonne de combustible 10 kilogrammes d'ammoniaque.

La quantité d'eau nécessaire à l'installation peut se calculer de la manière suivante.

Par tonne de combustible chargé au gazogène, on ajoute au mélange d'air et de vapeur d'eau, d'un côté, 1.500 kilogrammes de vapeur avant l'entrée au réchauffeur B et, d'autre part, 750 kilogrammes vaporisés dans le laveur C. Dans la tour réfrigérante F, l'eau entre à 50° et en sort à 80° ; 4.500 kilogrammes de gaz et 2.750 kilogrammes de vapeur se refroidissent de 80 à 65° ; 1.500 kilogrammes de vapeur se condensent à 65°.

La quantité de chaleur dégagée est

$$4500 \times 0,32 \times 15 + 2750 \times 0,48 \times 15 + 1500 \times 561 = 886.000 \text{ calories-kilogrammes.}$$

Ces 886.000 calories-kilogrammes échauffent de 30° une quantité d'eau égale à

$$\frac{886.000}{30} = 29533^{kg},33 \text{ ou environ } 30.000 \text{ kilogrammes.}$$

(1) A Winnington, où ont été faites ces expériences, la vapeur d'eau était fournie par l'échappement de nombreuses machines à vapeur actionnant en même temps les pompes. La vapeur d'eau et la commande des pompes ne coûtaient donc rien. Ce sont là des conditions particulières et on doit, dans le cas général, faire entrer ces dépenses en ligne de compte pour connaître le véritable rendement de l'installation.

(2) Dans ses essais sur les gazogènes des stations hydrauliques de Bâle, M. E. Meyer a trouvé les résultats suivants avec un gazogène Dowson alimenté avec du coke dont la puissance calorifique absolue supérieure est égale à 7.200 calories-kilogrammes. Un kilogramme de coke a donné $4^{m3},74$ de gaz d'un pouvoir calorifique inférieur égal à 1.200 calories-kilogrammes. Par kilogramme de coke gazéifié, il a fallu employer $0^{kg},11$ de ce coke pour produire la vapeur. Le rendement calorifique *inférieur* a donc été de

$$\frac{4,74 \times 1200}{1,11 \times 7200} = 0,71.$$

Digitized by Google

Ces 30 mètres cubes d'eau, augmentés de $1^{m3},5$ provenant de la vapeur d'eau condensée, passent dans la tour G du réchauffage de l'eau ; là 1.000 kilogrammes d'eau sont vaporisés et 3.000 kilogrammes d'air sont portés de 30° à 70°.

Ces transformations absorbent une quantité de chaleur égale à

$$3000 \times 0,27 \times 40 + 1000 \times 551 = 583.000 \text{ calories-kilogrammes.}$$

Cette quantité de chaleur est suffisante pour abaisser de

$$\frac{583}{30,5} = 19° \text{ C.}$$

les $30^{m3},5$ d'eau qui parviennent au bas de la tour G. Comme il n'est besoin que de 30 mètres cubes d'eau froide dans la tour F, on voit qu'il reste en réalité, par tonne de combustible chargé au gazogène, $0^{m3},5$ disponibles pour les diverses pertes.

Lorsque l'appareil est en train, il n'est donc nécessaire que de fournir

$$1.500 + 750 = 2.250 \text{ kilogrammes}$$

d'eau ou $2^{m3},25$ *par tonne de combustible* chargé au gazogène. Ceux-ci se décomposent de la manière suivante : $1^{m3},5$ pour la vapeur dont le mélange d'air et de vapeur venant de la tour G doit être additionné avant d'entrer dans le réchauffeur ; $0^{m3},75$ pour l'eau qui doit remplacer l'eau vaporisée dans le laveur C (1).

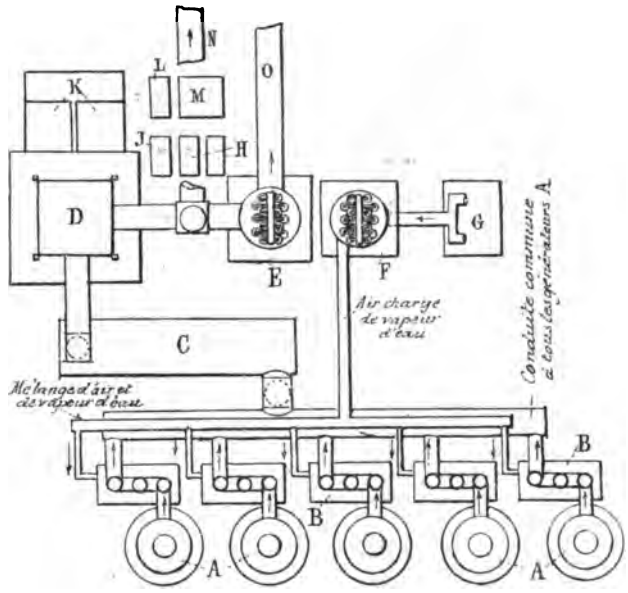


Fig. 113. — Schéma d'une installation d'une batterie de générateurs Duff.

A, Générateurs ; — B, Réchauffeurs de vent soufflé aux gazogènes ; — C, Laveur ; — D, Tour à acide ; — E, Tour de réfrigération ; — F, Tour pour le refroidissement de l'eau ; — G, Ventilateur ; — H, Pompes à eau ; — J, Pompe à acide ; — K, Séparateur de goudrons ; — L, Citerne à acide ; — M, Citerne à eau ; — N, Conduite menant aux fours ; — O, Conduits menant aux scrubbers à sciure de bois.

6. Sur quelques installations du gazogène Mond. — L'installation de Winnington est capable de produire 850.000 mètres cubes de gaz Mond par jour. La récupération de l'ammoniaque représente, dans une grande installation, un bénéfice de 5 francs environ par tonne de charbon introduit dans le gazogène.

A Sandiacre se trouve une installation de 100 chevaux sans récupération d'ammoniaque.

D'après M. H.-M. Martin (2), les appareils Mond se prêtent très facilement aux variations de débit les plus extrêmes ; une installation établie pour une dépense normale de 10 tonnes de charbon par vingt-quatre heures peut se réduire à une dépense de moins d'une tonne, puis repartir rapidement au régime normal. La main-d'œuvre n'est pas considérable ; il faut 5 hommes pour une installation de 10.000 chevaux dans les usines de la Compagnie

(1) On trouvera dans le travail de M. Schöttler les schémas de deux installations au gaz Mond, ainsi que des données fournies par Rollason sur une installation de 1.000 chevaux faite à Sandiacre.

Voir aussi Humphrey, *Institution of Mechanical Engineers*, 14 décembre 1900 [*Revue de Mécanique*, t. VIII, 1901, p. 50 (*Étude très complète d'essais d'un moteur Crossby alimenté au gaz Mond*)].

(2) H.-M. Martin, *Traction and Transmission*, novembre 1903, p. 150 (*Revue de Mécanique*, t. XIV, p. 307, 1904).

Digitized by Google

Castner Kellner. Le prix élevé du sulfate d'ammoniaque (250 francs la tonne) permet d'abaisser le prix du cheval-heure à 2,6 centimes et 3,4 centimes pour une station de 20.000 chevaux marchant constamment en pleine charge ou en charges variables équivalant à la demi-charge. Cette dépense s'élève à 6 et 7 centimes pour une station de 1.000 chevaux marchant dans les mêmes conditions, mais sans récupération d'ammoniaque; cette récupération ne devient commercialement possible que pour des puissances de 3.000 chevaux au moins.

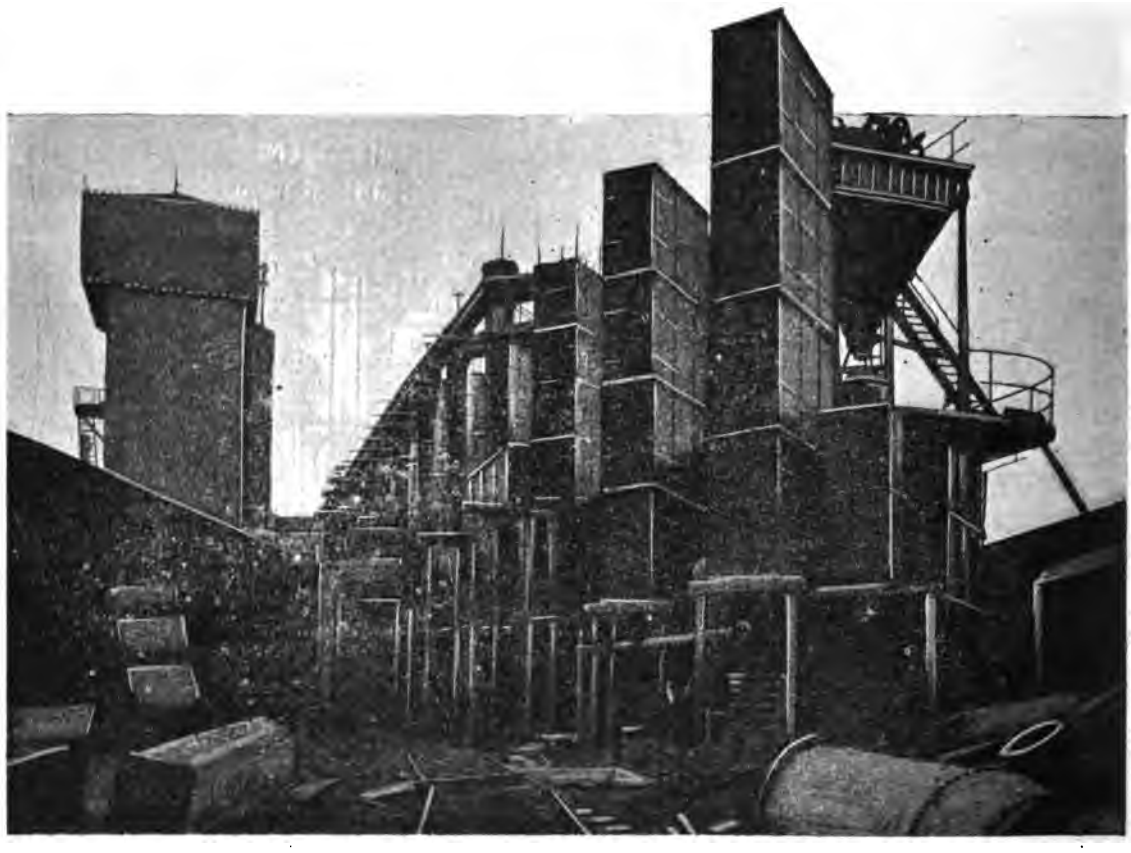


Fig. 114. — Installation de gazogènes Duff à l'usine Armstrong à Manchester.

7. Gazogène Duff. — Comme le gazogène Mond, le gazogène Duff est construit pour utiliser les charbons bitumineux anglais riches en azote (1,25 0/0) avec récupération des sels ammoniacaux produits.

Le générateur Duff, de $4^{m},50$ de diamètre et de 6 mètres de hauteur, a une grille en dos d'âne, comme nous en avons rencontré au chapitre v, dans le gazogène Crossley et Rigby (*fig.* 43) et dans le générateur Lencauchez (*fig.* 42). Les gaz produits sont évacués vers le milieu de la hauteur du gazogène. Dans le haut de celui-ci se trouvent des ouvertures reliées par des éjecteurs à vapeur à d'autres orifices débouchant sur la grille, où ils amènent ainsi les produits volatils de la distillation du haut de la charge.

M. Duff a su, dans certaines installations, grouper une batterie de tels générateurs, de manière à obtenir des gazogènes à très grande production. La figure 113 représente une telle installation [1].

[1] Hugo Brauns, *Duff-Generatoranlagen für Schmelz und Kraftgaserzeugung* (*Stahl und Eisen*, 1er novembre 1903).

Digitized by Google

Le gaz sortant à 500° environ du générateur A passe dans un réchauffeur B autour duquel circule le mélange d'air et de vapeur d'eau à insuffler sous la grille du générateur; chaque générateur possède un réchauffeur. De là le gaz passe dans une conduite commune à tous les générateurs, puis dans un laveur où il dépose ses poussières et une partie de

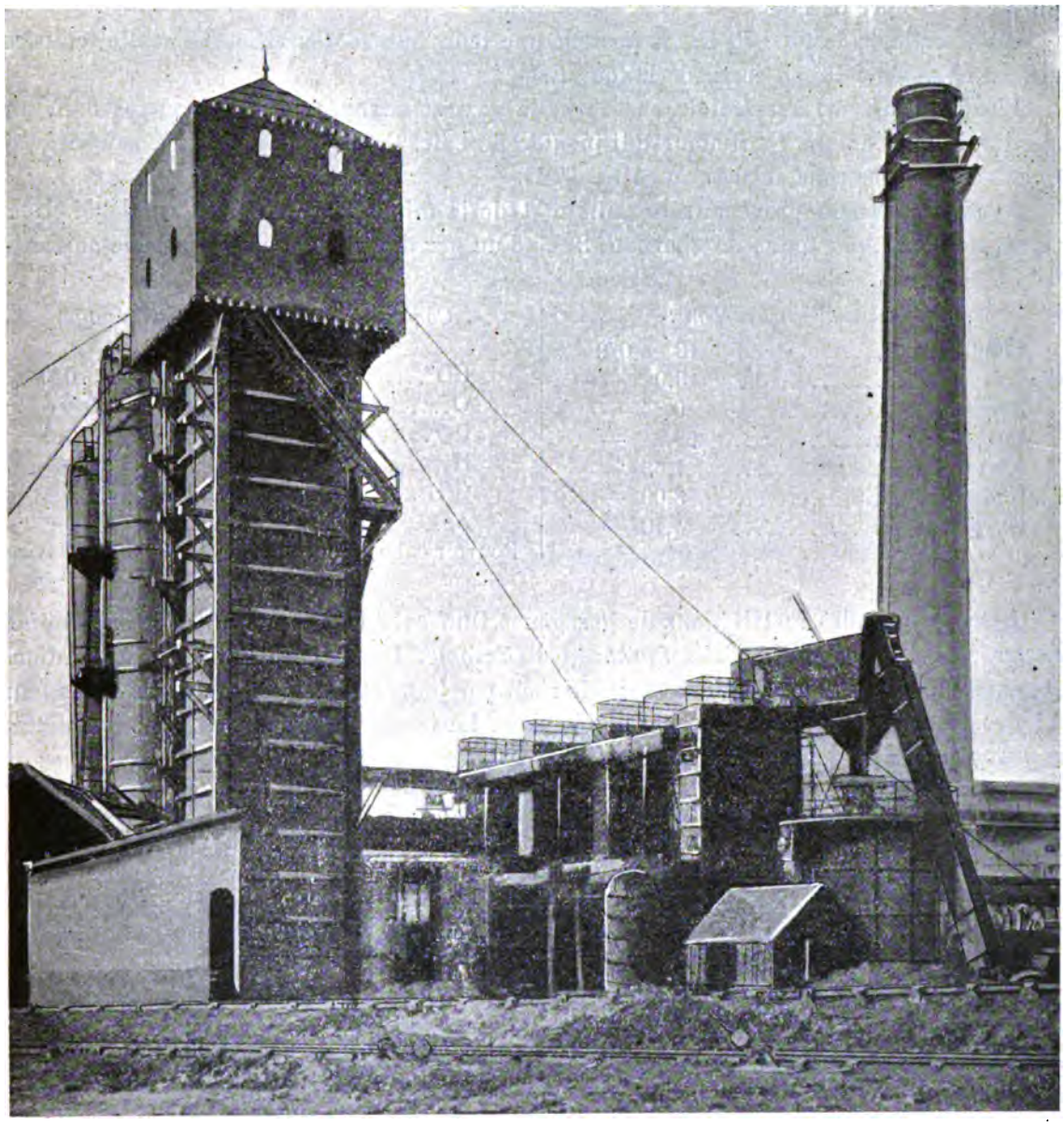


Fig. 115. — Installation de gazogènes Duff à la United-Alcali à Fleetwood.

ses goudrons. Le gaz à une température de 85° à 90° arrive à la partie inférieure de la tour à récupération d'ammoniaque D; c'est une sorte de tour à section carrée dont l'intérieur est garni de plaques de plomb et de lattis afin de multiplier les contacts; dans cette tour coule de haut en bas de l'eau contenant environ 4 0/0 d'acide sulfurique qui absorbe l'ammoniaque. De temps en temps la dissolution est soutirée à la partie inférieure et concentrée dans des chaudières. D'après Duff, 90 à 95 0/0 de l'ammoniaque con-

Digitized by Google

tenue dans les gaz est transformée en sulfate ; 24 tonnes de menus ayant une teneur en azote de 1,25 0/0 donnent une tonne de sulfate d'ammoniaque.

Quand le gaz produit doit être employé au chauffage des fours, il y est conduit par N au sortir de la tour D.

Quand il doit alimenter des moteurs à gaz, il passe dans le laveur E, puis dans un épurateur à sciure de bois.

A sa sortie de la tour D, le gaz possède une température d'environ 60° ; cette température est abaissée à 45° au sortir de la tour E.

L'eau qui a servi à refroidir et à laver le gaz est envoyée par des pompes dans une tour large, munie d'un ventilateur qui insuffle de l'air. Celui-ci se réchauffe, se charge de vapeur d'eau et se rend ensuite au réchauffeur.

Avec du charbon provenant du puits n° 1 de la mine Dorstfeld (Dortmund), M. Hugo Brauns a obtenu, par tonne de charbon, $3^{m3},5$ d'un gaz dont la composition est la suivante.

Composition du charbon :

Cendres	18	0/0
Eau	3,9	—
Soufre	0,25	—
Carbone	69,2	—
Azote	1,55	—
Hydrogène	3,00	—
Oxygène	4,10	—

Composition du gaz après absorption de l'ammoniaque :

CO^2	4	0/0
O	0,5	—
CO	22	—
H	17,3	—
C^2H^4	2	—
Az	54,2	—

Pouvoir calorifique supérieur : 1.300 cal. environ

Les plus grandes installations de gazogènes Duff existent à l'usine *Armstrong à Manchester* (*fig.* 114) et aux *aciéries Parkhead à Glasgow*. Dans chacune de ces installations, 10 générateurs gazéifient 200 tonnes de charbon par jour et fournissent du gaz à des fours et à des machines à gaz de 500 à 1.000 chevaux. La figure 115 représente une installation de *gazogène Duff* à la Société *United-Alcali à Fleetwood.*

Digitized by Google

CHAPITRE VIII

UTILISATION DES GAZ DE HAUTS FOURNEAUX ET DE FOURS A COKE [1]

I

LES GAZ DE HAUTS FOURNEAUX

1. Progrès réalisés en sidérurgie pour abaisser la consommation de coke par tonne de fonte produite. — En métallurgie et en particulier dans l'industrie sidérurgique, la plus ou moins grande consommation du combustible influe beaucoup sur le coût d'extraction du métal. C'est donc à une meilleure utilisation du combustible que doivent viser la plupart des perfectionnements à apporter aux procédés industriels de l'extraction du fer.

Le premier progrès a consisté dans l'adoption d'un *four à cuve continu*, dans lequel les matières à traiter descendent au-devant des gaz qui s'élèvent.

(1) Baum, *Die Verwertung des Koksofengases* (*Glückauf*, 1904, nos 16-21 ; J. Springer, Berlin, 1904).
E. Deschamps, *Utilisation des gaz de hauts fourneaux et de fours à coke* (*Revue de Mécanique*, t. VIII, 1901).
E. Demenge, *l'Utilisation directe des gaz de haut fourneau dans les machines* (*Revue générale des Sciences*, t. XI, 1900).
Ad. Greiner, *De l'emploi des gaz de hauts fourneaux dans les machines motrices* (Communication faite à Londres, à l'Institut du fer et de l'acier, le 3 mai 1898).
H. Hoffmann, *Kraftgewinnung und Kraftverwertung in Berg- und Hüttenwerken* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. L, nos 35, 38, 39, 1906).
H. Hubert, *De l'utilisation directe des gaz des hauts fourneaux pour la production de la force motrice* [*Annales des Mines de Belgique*, t. II, 1897; — Note lue à l'Association des ingénieurs de l'Ecole de Liège, le 17 octobre 1897 (*Revue universelle des Mines*, 1897) ; — *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 3e série, t. XIV, 1900].
Lencauchez, Note lue le 8 novembre 1897 à la séance du district de Paris de la Société de l'Industrie minérale.
Lürmann, Note lue le 27 février 1898 à l'Association des Sidérurgistes à Düsseldorf.
Ch. de Mocomble, *De l'utilisation des gaz de haut fourneau* (*Revue de Métallurgie*, 2e année, nos 1 et 3, janvier et mars 1905).
K. Reinhardt, *Die Verwendung von Grossgasmaschinen in deutschen Hütten- und Zechenbetrieben* [Vortrag gehalten auf dem Juli-Meeting 1906 des Iron and Steel Institute (*Stahl und Eisen*, 1906, nos 15, 16, 17 et 18)].
Rowden et Galbraith, Note lue le 18 novembre 1897 à l'Institut du fer et de l'acier de l'Ouest de l'Ecosse, à Glasgow.
A. Witz, *Expériences sur l'emploi direct des gaz des hauts fourneaux dans les machines motrices* (*Revue universelle des Mines*, t. XLIII, 3e série, p. 113, août 1898).
A. Witz, *les Moteurs à gaz de grande puissance en métallurgie* (Rapport présenté au Congrès de Mécanique de 1900).

Digitized by Google

D'autre part, pour augmenter le rendement de ces appareils et pour rendre plus efficaces les échanges de chaleur, on a été amené à *prolonger la zone des températures modérées dans le voisinage du gueulard*, ce qui a entraîné, en même temps qu'*un accroissement de production*, la transformation des petites constructions d'autrefois en des fourneaux *d'une hauteur et d'un diamètre plus grands.*

Cette hauteur, qui était en 1881 de 19 mètres au maximum dans les hauts fourneaux de la Belgique et du Luxembourg, atteint maintenant 25 mètres dans certains fourneaux anglais et 31^{m},75 dans quelques fourneaux américains. Les diamètres au creuset et aux étalages, qui étaient au maximum de 3 mètres et de 6^{m},30, sont maintenant de 4^{m},50 et de 6^{m},90 dans les fourneaux anglais ou américains. La production de fonte par vingt-quatre heures, qui était de 60 tonnes en 1863, est aujourd'hui couramment de 100 tonnes.

Cet accroissement de la hauteur du haut fourneau a conduit immédiatement au remplacement des combustibles friables comme le charbon de bois par du *coke métallurgique*, capable de supporter les grandes charges, et à l'emploi de vent soufflé sous un grand volume et à forte pression. La pression du vent s'élève, dans certaines installations américaines, à 775 millimètres de mercure et sera bientôt portée, dit-on, à 1.250 millimètres; le volume de vent soufflé par minute est actuellement de 500, 700 et même 1.400 mètres cubes.

2. Économie réalisée par le chauffage du vent. — Le chauffage du vent à des températures de 600 à 800° par la combustion des gaz sortant du gueulard réalisa de son côté une économie très notable de combustible. Alors qu'au début du XIXe siècle on consommait 8.000 kilogrammes de houille pour produire une tonne de fonte, l'adoption des fourneaux de production plus grande fit descendre cette dépense à 4.000 kilogrammes. Le chauffage du vent permit, dès 1850, de ne plus consommer que 3.000 kilogrammes de combustible. Aujourd'hui, grâce à l'utilisation rationnelle des gaz du gueulard, on arrive à ne dépenser que 800 à 1.000 kilogrammes de coke par tonne de fonte produite.

3. Gaz sortant du gueulard. — Volume produit par tonne de coke. — Les gaz sortant du gueulard renferment en général une assez forte proportion d'anhydride carbonique; ils sont surtout formés d'*oxyde de carbone* (1), d'*azote* avec un peu de gaz des marais et d'hydrogène. Ils détiennent en outre de la *vapeur d'eau* et une quantité variable de *poussières.*

Par *tonne* de coke brûlé, on peut compter sur une moyenne de 4.500 mètres cubes de gaz produit mesuré à 0° C. et sous une pression de 76 centimètres de mercure.

4. Volume de vent soufflé par tonne de coke. — Le volume de vent soufflé est, par tonne de coke, de 3.300 à 3.750 mètres cubes, soit en moyenne 3.500 mètres cubes.

(1) D'après M. Hubert (*Annales des Mines de Belgique*, t. II, 1897), le rapport entre les poids d'anhydride carbonique et d'oxyde de carbone qui existent dans les gaz sortant du gueulard peut être pris comme mesure de l'économie de la marche du haut fourneau et de l'utilisation plus ou moins complète du carbone dans la réduction de l'oxyde de fer du minerai. Ce rapport $\frac{CO^2}{CO}$, qui est variable suivant les époques et les régions, est compris en Belgique entre 0,5 et 0,7. Dans ses études sur la fabrication de la fonte blanche (*Revue universelle des Mines*, t. XXXIX, 1re série), J. Wolter donne pour ce rapport 0,853, le fourneau étant alimenté exclusivement au moyen de minettes du Luxembourg, riches en calcaire. Mais il cite aussi, d'après L. Bell, pour les fourneaux de Cleveland, des rapports de 0,38; 0,68; 0,54; 0,62. En somme, on peut dire que ce rapport $\frac{\text{Poids de } CO^2}{\text{Poids de } CO}$ est compris entre 0,40 et 0,85.

Digitized by Google

5. Nature et composition des gaz du gueulard. — La nature et la composition des gaz sortant du gueulard dépendent de la nature du minerai, de la quantité de coke et du volume de vent soufflé.

Dans un fourneau employant *un combustible, un minerai et un fondant de natures déterminées, la composition des gaz ne varie que peu pendant la marche;* quelques analyses suffisent pour déterminer la moyenne de la composition et du pouvoir calorifique.

Les nombres suivants résultent d'un très grand nombre d'analyses (1).

TABLEAU XIX

COMPOSITION EN VOLUME DES GAZ DE HAUT FOURNEAU ALIMENTÉS AU COKE ET AU MINERAI OOLITHIQUE

CO^2	de 5 0/0 à 9 0/0,	moyenne :	8 0/0
Az	de 55 — à 60 —	—	57 —
CO	de 22 — à 36 —	—	30 —
H	de 3 — à 7 —	—	5 —

Nota. — Il y a, dans quelques cas, des traces de vapeur d'eau et de CH^4.

6. Pouvoir calorifique supérieur du gaz de haut fourneau. — Le pouvoir calorifique supérieur présente certaines variations suivant les installations.

Nous admettrons le chiffre moyen de 900 calories, qui correspond aux hauts fourneaux d'allures moyennes, employant des minerais et des combustibles ordinaires. A cause de la faible teneur en hydrogène, le pouvoir calorifique inférieur est peu différent du pouvoir calorifiqué supérieur (2).

(1) Voir dans le mémoire de M. de Mocomble un tableau des analyses de divers gaz.

(2) Dans un mémoire publié dans les *Annales des Mines de Belgique*, M. H. Hubert a calculé le premier la puissance calorifique d'un gaz de haut fourneau dans lequel on charge un mélange formé de :

	Pour 100
Minerai Rubio de Bilbao	70
Spath grillé du pays de Siegen	10
Résidus de pyrites et *purple ore* en parties égales	20

On y ajoute 20 0/0 de castine d'Engis et, dans ces conditions, on consomme 1 tonne de coke pour produire 1 tonne de fonte.

La composition des différentes substances enfournées est alors :

	Rubio	Spath	Pyrite	Purple ore	Castine
Humidité	0,12	0,06	0,15	0,15	0,01
Résidu insoluble	0,10	0,14	0,04	0,06	0,01
Fer	0,54	0,48	0,64	0,58	»
Manganèse	0,008	0,88	0,04	0,04	»
Matières volatiles	0,015	0,02	0,04	0,04	0,43
Chaux	0,005	»	»	»	0,54

Le lit de fusion qui doit être chargé pour la production d'une tonne de fonte se compose de :

		Eau	CO^2
1.400 kilogrammes	de rubio contenant	252 kil.	11,20 kil.
200 —	de spath	12 —	4,00 —
400 —	de résidus et purple ore	60 —	» —
400 —	de castine	4 —	172,00 —
1.000 —	de coke	60 —	» —
En tout 3.400 kilogrammes	de mélange	388 kil.	187,20 kil.

La tonne de fonte produite contient :

	Kilogrammes
Fer	919,0
Manganèse	17,5
Carbone	37,5
Silicium	25,0
Phosphore et soufre	1,0
	1000,0

La tonne de coke renfermait 850 kilogrammes de carbone, dont 37kg,50 sont passés dans la fonte; le reste, soit

Digitized by Google

7. Conditions générales de marche d'un haut fourneau. — En résumé, nous admettons les nombres suivants pour les hauts fourneaux au coke du continent [1].

$812^{kg},50$, s'est combiné avec l'oxygène, en donnant CO^2 et CO. Soit x kilogrammes le poids du carbone du coke qui a fourni CO^2 ; celui qui a produit CO est $812,5 - x$. Les poids de CO^2 et CO sont

$$\frac{44x}{12}, \qquad \frac{(812,5 - x)\,28}{12}.$$

Mais les éléments du lit de fusion nécessaire pour la production d'une tonne de fonte contiennent $187^{kg},20$ de CO^2 qui, en supposant qu'ils se dégagent complètement sans se décomposer, s'ajoutent aux $\frac{44x}{12}$ kilogrammes provenant de la combustion complète du carbone. Si donc on fait le calcul pour $\frac{CO^2}{CO} = 0,5$ et $\frac{CO^2}{CO} = 0,7$, on trouve :

$$\frac{CO^2}{CO} = 0,5 : \qquad \frac{\frac{44x}{12} + 187,20}{\frac{(812,5 - x)\,28}{12}} = 0,5, \qquad \begin{array}{l} x = 157,4 \text{ kilogrammes.} \\ 812,5 - x = 655,1 \quad — \end{array}$$

$$\frac{CO^2}{CO} = 0,7 : \qquad \frac{\frac{44x}{12} + 187,20}{\frac{(812,5 - x)\,28}{12}} = 0,7, \qquad \begin{array}{l} x = 215,1 \quad — \\ 812,5 - x = 597,4 \quad — \end{array}$$

Les poids d'oxygène entrés en combinaison avec le carbone sont

$$\frac{CO^2}{CO} = 0,5 : \qquad \frac{157,4 \times 32}{12} + \frac{655,1 \times 16}{12} = 1.293^{kg},20.$$

$$\frac{CO^2}{CO} = 0,7 : \qquad \frac{215,1 \times 32}{12} + \frac{597,4 \times 16}{12} = 1.370^{kg},10.$$

Cet oxygène a été emprunté, partie aux différents corps oxydés réduits dans le fourneau, partie à l'air soufflé. Si la réduction de ces corps se fait complètement, elle fournit au carbone les quantités suivantes d'oxygène :

	$28^{kg},6$	combinés avec	$27^{kg},00$ de silicium (SiO^2)
	7 ,6	—	25 ,10 de manganèse (Mn^2O^3)
	394 ,3	—	1.314 ,00 de fer (Fe^2O^3)
Total	$430^{kg},5$		

La combustion du carbone a donc dû emprunter à l'air soufflé dans le fourneau $862^{kg},7$ d'oxygène $\left(\frac{CO^2}{CO} = 0,5\right)$ ou $939^{kg},6$ $\left(\frac{CO^2}{CO} = 0,7\right)$, soit environ 3.751 kilogrammes d'air (premier cas) ou 4.085 kilogrammes d'air (deuxième cas).

La composition en poids des gaz dégagés par tonne de fonte est alors

	$\frac{CO^2}{CO} = 0,5$	$\frac{CO^2}{CO} = 0,7$
Azote	2.888,3 kil.	3.145,5 kil.
CO^2 de la combustion	577,1 —	788,3 —
CO^2 provenant de la décomposition des carbonates	187,2 —	187,2 —
Oxyde de carbone	1.528,6 —	1.393,6 —
Vapeur d'eau provenant du minerai, du coke et non décomposée	388,0 —	388,0 —
	5.569,2 kil.	5.902,6 kil.

Nous n'avons pas tenu compte de l'hydrogène provenant de la vapeur d'eau contenue dans l'air et des carbures d'hydrogène ; admettons qu'il y ait environ 1 0/0 de ces gaz et admettons pour les poids de gaz dégagés 5.630 kilogrammes et 5.966 kilogrammes par tonne de fonte. La composition centésimale de ce gaz est alors

	$\frac{CO^2}{CO} = 0,5$	$\frac{CO^2}{CO} = 0,7$
Azote	51,30	52,80
CO^2	13,58	16,35
CO	27,25	23,43
H et hydrocarbures	0,97	0,92
H^2O	6,90	6,50
	100,00	100,00

La combustion de 1 kilogramme de CO dégage 2.435 calories ; prenons 14.000 calories pour la combustion de 1 kilogramme d'H et des hydrocarbures, la quantité de chaleur dégagée par la combustion de 1 kilogramme de gaz de haut fourneau est environ 800 calories $\left(\frac{CO^2}{CO} = 0,5\right)$ et 700 calories $\left(\frac{CO^2}{CO} = 0,7\right)$. Si on compte 4.500 mètres cubes de gaz par tonne de fonte, on voit que le mètre cube de gaz pèsera soit $1^{kg},25$ $\left(\frac{CO^2}{CO} = 0,5\right)$, soit $1^{kg},33$ $\left(\frac{CO^2}{CO} = 0,7\right)$. Le pouvoir calorifique du gaz sera donc dans un cas 1.000 calories et dans l'autre 931 calories. Or, nous le savons, ces chiffres sont voisins de la moyenne trouvée par l'expérience.

[1] D'après M. de Mocomble.

Digitized by Google

Volume de vent soufflé aux tuyères par tonne de combustible.	3.500^{m3}
Pression du vent (en centimètres de mercure).....	25 à 30
Température du vent à l'entrée dans le fourneau.....	600 à 800°
Volume de gaz produit mesuré à 0°, pression 760 millimètres de mercure, par tonne de combustible.....	4.500^{m3}
Quantité moyenne d'air théoriquement nécessaire pour brûler 1 mètre cube de gaz.....	0^{m3},700
Température des gaz au gueulard.....	150°
Pouvoir calorifique supérieur.....	900 cal.

8. Poussières contenues dans le gaz de haut fourneau. — Le gaz de haut fourneau entraîne des poussières en quantité notable et assez variable dont il est urgent de se débarrasser si on veut réaliser une utilisation convenable de ces gaz.

D'après M. Greiner, ce poids de poussières entraînées varie entre 3 grammes et 13 grammes par mètre cube, ce qui, pour un fourneau brûlant 100 tonnes de coke par vingt-quatre heures, fait un poids de 1^{t},35 à 5^{t},85 de poussières par vingt-quatre heures.

Ces poussières ont une composition chimique moyenne qui est la suivante :

Silice.....	20 à 30 0/0	Oxyde de fer.....	10 à 60 0/0
Chaux.....	15 à 20	Oxyde de manganèse..	3 à 6
Alumine.....	10 à 15	Soude et potasse.....	5 à 20

Les autres constituants : oxydes de zinc, de baryum, de magnésium, ..., se rencontrent en moindres proportions.

Ces poussières appartiennent à deux catégories.

La première, composée *d'éléments plus ou moins lourds*, provient des *parties inertes de la charge* et se trouve enlevée par les gaz de la partie supérieure du haut fourneau. Elle est facile à *précipiter dans les conduites ou dans les épurateurs à des distances du gueulard variables suivant la masse de ces éléments.*

La seconde catégorie, *résultant des combinaisons formées au moment de la combustion, est à un tel degré de finesse qu'elle résiste au lavage même et à tous les obstacles qui lui sont opposés sur un parcours de* 5 *à* 600 *mètres.* C'est elle qui blanchit généralement l'extrémité des cheminées de haut fourneau.

Ces poussières, en se déposant dans les carneaux des chaudières et des récupérateurs, ont, comme nous allons le voir, pour effet de diminuer le rendement de ces appareils.

9. Influence des poussières sur le fonctionnement des récupérateurs. — Les *récupérateurs* consistent en une masse de briques réfractaires disposées en carneaux, au travers desquels on fait passer les gaz du gueulard allumés au préalable dans une chambre de combustion. Lorsque la température des briques est suffisamment élevée, on fait passer le vent en sens inverse du courant gazeux, de manière à obtenir un chauffage méthodique.

Mais, si les surfaces des carneaux sont recouvertes de dépôts dus aux poussières des gaz, ces poussières étant essentiellement mauvaises conductrices, les appareils présentent une puissance de récupération amoindrie ; la température des gaz à la cheminée s'élève et celle du vent diminue en présentant des variations beaucoup plus rapides pendant la période de soufflage. C'est ainsi que des expériences faites aux hauts fourneaux de Pittsburg ont donné les nombres suivants.

	Température du vent	Température à la cheminée
Récupérateurs propres	650 à 800°	200 à 350°
Récupérateurs dont les surfaces de briques sont recouvertes de poussières.	500 à 700°	300 à 450°

Digitized by Google

D'autre part, on peut remarquer que la chute de température du vent est beaucoup plus rapide avec les récupérateurs sales qu'avec les récupérateurs propres. En effet, la chaleur dégagée par la combustion des gaz du gueulard est absorbée simplement à la surface des briques recouvertes de poussières : lorsque l'air froid est envoyé dans le four, la chute de température est beaucoup plus rapide. Cette chute plus rapide de la température se traduit par une consommation plus élevée de coke. M. Thwaite prétend qu'elle détermine une perte annuelle d'environ 1.000 tonnes de coke pour un haut fourneau produisant 100 tonnes de fonte par vingt-quatre heures.

10. Économies réalisées par l'épuration des gaz avant leur arrivée aux Cowper. — *L'épuration des gaz présente donc une importance capitale au point de vue du rendement des fours récupérateurs et de leur entretien.* M. Theisen prétend qu'en épurant convenablement le gaz avant de l'envoyer aux récupérateurs, on peut en supprimer soit un par haut fourneau, soit deux pour trois hauts fourneaux. Il en résulterait tout d'abord une économie de 250.000 francs environ sur les frais de premier établissement ; en sus de cet avantage, on obtiendrait dans le haut fourneau une température plus élevée, correspondant à une économie de coke et à une augmentation de production.

On compte en effet une économie d'environ 25 kilogrammes de coke par tonne de fonte produite pour une augmentation de température de 100° du vent insufflé. Pour une production de 100 tonnes par vingt-quatre heures, cela fait une économie de

$$2500 \times 360 = 900 \text{ tonnes de coke par an.}$$

Ces 900 tonnes de coke à 28 francs la tonne font une économie annuelle de 25.200 francs.

Il convient d'ajouter à cela une économie résultant du nettoyage des récupérateurs Cowper [1]. Pour un haut fourneau de 100 tonnes, on a généralement 4 appareils Cowper et 6 chaudières. Chaque appareil Cowper doit être nettoyé 4 fois par an, soit par an 16 nettoyages. Chaque nettoyage (la période de chauffage qui suit le nettoyage étant comprise) dure huit jours, soit cent vingt-huit jours pour les 16 nettoyages. Or la pratique montre que pendant cette période de nettoyage il faut environ 70 kilogrammes de coke en plus par tonne de fonte produite. Pour un haut fourneau de 100 tonnes il faudra $70 \times 100 = 7.000$ kilogrammes par jour. Pour cent vingt-huit jours il faudra $128 \times 7 = 896$ tonnes qui, à raison de 28 francs la tonne, coûtent 25.088 francs. Le coût de ces nettoyages étant d'environ 640 francs, cela fait en tout une dépense supplémentaire de 25.728 francs.

Lorsque les gaz sont suffisamment épurés, il suffit d'un nettoyage annuel coûtant 6.432 francs. L'épuration des gaz procure donc une économie de 19.300 francs environ sur le nettoyage des Cowper.

En outre, la maçonnerie réfractaire des Cowper n'étant plus soumise à de si fréquentes variations de température provenant de l'extinction de l'appareil et, par suite, aux fréquentes contractions et dilatations qui accompagnent ces nettoyages, se conserve plus longtemps en bon état. L'éçonomie qui résulte de la plus longue durée d'un appareil est d'environ 1.200 francs par an, ce qui, pour les 4 appareils d'un fourneau, fait 4.800 francs par an.

Pour un haut fourneau de 100 tonnes, il faut 6 chaudières de 100 mètres carrés de

[1] E. Bian, *Épuration des gaz de hauts fourneaux* (Rapport présenté au Congrès international de métallurgie tenu à Liège en 1905, t. I).

Digitized by Google

surface de chauffe, qu'il faut nettoyer tous les quinze jours, ce qui fait par an 144 nettoyages à 15 francs, soit 2.160 francs. Si le gaz est convenablement épuré, il faut défalquer de cette somme 1/3, ce qui fait une économie de 1.440 francs.

Enfin, le nettoyage des carneaux et des conduites à gaz doit se faire une fois, souven deux fois par an, dans les usines où la teneur en poussière est très élevée. L'arrêt occasionné par ce nettoyage est de douze heures, correspondant à une diminution de production de 50 tonnes de fonte environ. Le prix de la main-d'œuvre pour ce travail difficile est élevé, il faut environ 60 ouvriers auxquels on donne généralement double salaire.

En résumé, on voit que l'épuration des gaz avant leur arrivée aux Cowper permet de réaliser par an l'économie minimum suivante :

Économie sur le nettoyage des Cowper.....	19.300 francs
Durée plus longue des appareils.....	4.800 —
Coke économisé par suite d'une augmentation de la température des gaz.....	25.200 —
Nettoyage des chaudières.....	1.400 —
TOTAL.....	50.700 francs

On peut donc, par cette épuration, compter sur un bénéfice annuel direct d'au moins 51.000 francs.

11. Utilisation des gaz dans les récupérateurs. — Rendement d'un récupérateur. — Proportion des gaz du gueulard brûlés dans les récupérateurs. — Étudions maintenant l'utilisation des gaz dans les récupérateurs.

Le rendement d'un récupérateur est le rapport qui existe entre le nombre des calories absorbées par les parois réfractaires et le nombre des calories dégagées par la combustion d'une certaine masse, 1 kilogramme par exemple, des gaz du gueulard.

Ce rapport est d'autant moindre que la température des gaz à la cheminée est plus élevée, que les pertes par radiation sont plus considérables, que la combustion du gaz du gueulard s'effectue dans un plus grand excès d'air. M. de Mocomble considère que ce rendement ne doit pas dépasser 60 0/0. Si l'on admet 900 calories pour pouvoir calorifique de 1 mètre cube de gaz de haut fourneau ou 720 calories pour pouvoir calorifique de 1 kilogramme de ce gaz (poids de 1 mètre cube = $1^{kg},25$), la quantité de chaleur absorbée par les parois réfractaires ne s'élève pas à plus de

$$0,6 \times 720 = 432 \text{ calories}$$

par kilogramme de gaz brûlé. Or pour porter 1 kilogramme d'air de la température ordinaire 15° à la température de 800°, il faut

$$0,23\ (800 - 15) = 186 \text{ calories.}$$

Le poids de gaz de haut fourneau qu'il faut brûler pour porter 1 kilogramme d'air à 800° est donc de

$$\frac{186}{432} = 0^{kg},430 \text{ environ.}$$

Le poids de gaz nécessaire pour porter à 800° 1 mètre cube ou $1^{kg},293$ d'air est égal à

Digitized by Google

0,430 × 1,293. Le volume occupé par ce poids de gaz est, si l'on prend $1^{kg},250$ pour poids du mètre cube de gaz de haut fourneau,

$$0,430 \times \frac{1,293}{1,250} = 0^{m3},430 \text{ environ.}$$

Ce chiffre de 400 *à* 430 *litres de gaz brûlé par mètre cube d'air fourni au haut fourneau* suppose :

1° Que la température à la cheminée des gaz brûlés est de 300° ;

2° Que les gaz sortent du gueulard à une température de 150° ;

3° Que l'air insufflé est échauffé à 800°.

Ce sont, d'après M. de Mocomble, les conditions d'une marche industrielle normale. En effet, dans la pratique industrielle, on ne doit pas compter avoir des fours récupérateurs parfaitement exempts de poussières. Or, nous avons vu que la température des gaz à la cheminée s'élève beaucoup avec les fours sales ; cette élévation de température est corrélative d'un plus mauvais échange de chaleur entre les gaz brûlés et les parois réfractaires du four. Comme en pratique on fait marcher ensemble un four propre et un four sale, afin d'égaliser le plus possible la température finale du vent, on peut admettre que la température moyenne des gaz à la cheminée est en pratique voisine de 300°. A cette température ne correspond pas, pour le vent, une température d'échauffement supérieure à 800°.

Pour un haut fourneau consommant 100 tonnes de coke par vingt-quatre heures, les machines soufflantes doivent, comme nous le verrons plus loin, fournir $4^{m3},76$ d'air par seconde. Le volume de gaz de haut fourneau qu'il est nécessaire de brûler par seconde pour porter le vent soufflé à la température de 800° est donc égal à

$$4,76 \times 0,4 = 1^{m3},904.$$

D'autre part, un tel haut fourneau produit par vingt-quatre heures

$$4500 \times 100 \text{ mètres cubes de gaz}$$

ou par seconde

$$\frac{4500 \times 100}{24 \times 3600} = 5^{m3},2.$$

La proportion des gaz brûlés dans les récupérateurs est alors

$$\frac{1,90}{5,2} = 0,365 \text{ ou } 36,5\ 0/0.$$

Nous admettrons ce chiffre de 36,5 0/0 *comme représentant la proportion des gaz du gueulard brûlés dans les récupérateurs.*

12. Utilisation du gaz de haut fourneau pour le chauffage des chaudières. — Nous avons vu que, par suite de l'emploi des gaz de haut fourneau pour chauffer les chaudières à vapeur, les métallurgistes du Pays de Galles étaient arrivés, au milieu du siècle dernier, à abaisser la consommation du coke de 4 tonnes à 3 tonnes par tonne de fonte fabriquée.

L'application de ce procédé est aujourd'hui générale, et il est intéressant de connaître quelle est l'utilisation des calories dégagées dans la combustion sous les chaudières du gaz de haut fourneau. Il y a, en effet, des pertes de chaleur dues non seulement au rayonne-

Digitized by Google

ment, mais encore à ce fait que les gaz, d'une part, ne sont pas complètement brûlés, et, d'autre part, quand ils sont brûlés, sortent à la cheminée à une température souvent élevée.

13. Quantité de vapeur qui peut être produite par la combustion du gaz. — Appelons *utilisation en vapeur* ou *rendement en vapeur d'une chaudière le rapport entre l'énergie interne de la vapeur produite par la combustion de 1 kilogramme d'un certain combustible et le nombre de calories dégagées par cette combustion.*

D'après M. Witz[1], ce rendement en marche industrielle ne dépasse pas 60 0/0 avec les meilleurs combustibles dans des installations bien étudiées et bien surveillées.

Si le rendement de 60 0/0 ne peut être obtenu dans ces chaudières qu'avec des conditions de surveillance et d'entretien aussi sérieuses, il n'est pas possible d'admettre que, dans celles où le gaz de haut fourneau est employé comme combustible, il atteindra même ce chiffre.

En effet, le gaz de haut fourneau est souvent chargé d'humidité; il est parfois de si faible puissance calorifique que son inflammation est difficile et occasionne par suite de grandes pertes par non-combustion; il entraîne avec lui des poussières mauvaises conductrices qui réduisent rapidement le rendement thermique. Il est donc infiniment probable qu'avec ce combustible le rendement oscille entre le chiffre de 33 0/0 indiqué par M. Lencauchez et celui de 45 0/0 donné par M. Greiner et par M. Bauermann. Nous prendrons pour la valeur de ce rendement 40 0/0.

Il conduit à une production de $0^{kg},74$ *de vapeur à 4 ou 5 kilogrammes de pression par mètre cube de gaz à 900 calories brûlé au foyer, soit 1 kilogramme de vapeur pour* $1^{m3},35$ *de gaz.*

En effet, l'énergie interne de la vapeur d'eau saturée sous la pression de $4^{kg},5$ par centimètre carré ($t = 147°,088$ C.) a pour expression :

$$U = q + \rho = \text{chaleur du liquide} + \text{chaleur interne de vaporisation},$$
$$U = 148,475 + 459,053 = 607,528.$$

Si x est le nombre de kilogrammes de vapeur produits par la combustion de 1 mètre cube ($1^{kg},250$) de gaz de haut fourneau, on a

$$\frac{x \times 607,528}{1,250 \times 900} = 0,40,$$
$$x = 0^{kg},74.$$

14. Quantité de gaz nécessaire pour produire le cheval-heure effectif. — Nous venons de déterminer quelle quantité de vapeur peut être produite par le gaz. Il est utile de rechercher maintenant quelle est la *quantité de vapeur* et, par suite, la *quantité de gaz nécessaire pour fournir le cheval-heure effectif.*

Il résulte de nombreux essais de machines à vapeur qu'il faut compter sur une dépense de $6^{kg},5$ de vapeur à 4 ou 5 kilogrammes de pression par cheval-heure indiqué, lorsque la machine fonctionne en vapeur saturée; cette dépense s'abaisse à $4^{kg},9$ pour la marche en vapeur surchauffée.

Mais il ne faut pas compter sur de tels résultats en marche industrielle. En particulier, pour la marche en vapeur saturée, la dépense par cheval-heure indiqué ne sera pas inférieure à $7^{kg},5$.

(1) Witz, *Eclairage électrique*, 4 janvier 1902.

Digitized by Google

Si nous tenons compte de l'état de fini dans lequel une machine se trouve au moment des essais, il est bien certain que l'on peut admettre pour cette machine un rendement mécanique de 85 à 90 0/0.

Mais après usage, même dans des conditions d'excellent entretien, il ne faut pas espérer obtenir plus de 80 0/0.

La consommation de vapeur par cheval-heure effectif est donc, en marche industrielle et pour un fonctionnement en vapeur saturée,

$$\frac{7,5}{0,80} = 9^{kg},4.$$

Si l'on tient compte des pertes aux joints, des condensations dans les tuyaux, on arrive à une dépense de 10 kilogrammes par cheval-heure effectif, pour une machine alimentée avec de la vapeur saturée à 4 ou 5 kilogrammes de pression. Le résultat est à peu près le même pour les machines fonctionnant à 7 ou 8 kilogrammes de pression.

Or, nous avons vu qu'il faut $1^{m3},35$ de gaz pour produire 1 kilogramme de vapeur à 4 ou 5 kilogrammes de pression.

Il faut donc compter ici une dépense de

$$1,35 \times 10 = 13^{m3},5 \text{ ou approximativement 14 mètres cubes de gaz}$$

par cheval-heure effectif.

M. Dutreux pense qu'on atteint 15 mètres cubes; M. de Mocomble, 18 mètres cubes; M. Greiner, 22 mètres cubes.

15. Rendement thermique total de la chaudière, des conduites et de la machine. — Ces considérations nous conduisent à la valeur suivante du rendement thermique total de la chaudière, des conduites et de la machine.

$$\frac{75 \times 3600}{14 \times 900 \times 424} = 5,2 \text{ 0/0 environ.}$$

Le rendement thermique total de la chaudière, des conduites et de la machine n'est pas supérieur à 5,2 0/0.

16. Rendement des machines soufflantes. — Voyons maintenant quel est le rendement des machines soufflantes.

Sans entrer dans la description de ces machines, nous pouvons dire qu'elles ont subi de notables perfectionnements au cours de ces dernières années. Presque toutes sont maintenant *actionnées directement par les moteurs.*

Soit V le volume d'air comprimé à une température constante sous la pression Π pendant une seconde, et soit P la puissance nécessaire pour effectuer cette transformation. Théoriquement cette puissance est égale au travail effectué pendant une seconde sur le piston de la machine motrice. C'est ce qu'on exprime en disant que, théoriquement, la puissance développée sur le piston de la machine motrice devrait être récupérée en air refoulé.

En réalité, une pareille égalité n'a pas lieu :

1° A cause des frottements des divers organes de la machine motrice et de la pompe de refoulement de l'air;

2° A cause de la chaleur développée dans la compression de l'air;

Digitized by Google

3° Par suite du volume d'air non expulsé du cylindre du compresseur, volume d'air résiduel qui oblige à comprimer en réalité un volume d'air supérieur à V ou à donner au cylindre soufflant un volume supérieur à V.

D'après des renseignements fournis par la Société Cockerill en 1904, M. de Mocomble admet que le rapport entre la puissance développée pour comprimer un volume V d'air à la pression Π et la puissance développée sur le piston de la machine motrice ou puissance indiquée est égal à 0,60. D'autre part, on admet que le volume d'air sous la pression Π débité aux tuyères pendant un certain temps est les 85 0/0 du volume d'air sous la pression Π fourni réellement par la soufflerie dans le même temps.

On peut donc dire que le rapport de la puissance développée pour débiter aux tuyères sous la pression Π un volume d'air égal à 0,85V à la puissance indiquée de la machine motrice ou le *rendement de l'ensemble de la machine soufflante* (*moteur et soufflerie*) *entre vent soufflé aux tuyères et puissance indiquée de la machine motrice*, *est égal à*

$$0,60 \times 0,85 = 0,50.$$

Or la puissance nécessaire pour comprimer 1 mètre cube de vent à la pression de 30 centimètres de mercure est de 50 chevaux indiqués. La machine à vapeur devra donc fournir

$$\frac{50}{0,5} = 100 \text{ chevaux indiqués.}$$

Nous avons estimé à 14 mètres cubes la dépense de gaz de haut fourneau par cheval-heure effectif dans le système chaudières et machines à vapeur; nous avons, de plus, pris égal à 0,80 le rendement mécanique de la machine. La dépense de gaz de haut fourneau par cheval-heure indiqué est donc

$$0,80 \times 14 = 11^{m3},2 \text{ par cheval-heure indiqué.}$$

Il faudra donc brûler sous la chaudière

$$11,2 \times 100 = 1120 \text{ mètres cubes de gaz à 900 calories,}$$

pour souffler par seconde dans le haut fourneau 1 mètre cube d'air à la pression de 30 centimètres de mercure.

La puissance de la soufflerie d'un haut fourneau consommant 100 tonnes de coke devra être telle qu'elle puisse fournir aux tuyères 3.500 mètres cubes d'air par tonne de coke, ce qui donne par seconde

$$\frac{3500 \times 100}{24 \times 3600} = 4^{m3},05 \text{ d'air par seconde.}$$

Ces $4^{m3},05$ correspondent à une puissance de 405 chevaux indiqués (325 chevaux effectifs) ou à une consommation horaire de

$$11,2 \times 405 = 4536 \text{ mètres cubes de gaz de haut fourneau.}$$

Par suite des pertes dans les conduites, la machine soufflante devra réellement fournir

$$\frac{4,05}{0,85} = 4^{m3},76 \text{ d'air environ.}$$

Digitized by Google

17. Bilan d'un haut fourneau avec soufflantes à vapeur quand on n'épure pas les gaz avant leur entrée aux Cowper. — Voici le bilan du haut fourneau en prenant les utilisations des gaz admises jusqu'ici.

HAUT FOURNEAU CONSOMMANT 100 TONNES DE COKE PAR VINGT-QUATRE HEURES

Vent soufflé aux tuyères par kilogramme de coke.....	3^{m3},500
— par seconde.....	4 ,050
Pression du vent en mètres de mercure.....	0^{m} ,300
Gaz dégagé au gueulard par kilogramme de coke.....	4^{m3},500
— nécessaire pour chauffer 1^{m3},0 de vent à 800°.....	0 ,400
— nécessaire par heure pour obtenir par seconde 1^{m3},0 de vent soufflé aux tuyères à la pression de 0^{m},30 de mercure (avec emploi de vapeur saturée dans la machine motrice).....	1.440^{m3},000

Bilan par heure :

Gaz produit au gueulard..... $\frac{4.500 \times 100}{24} =$		18.750
— perdu au chargement, 10 0/0 du gaz produit.....	1.875^{m3}	
— consommé aux Cowper 36,5 0/0 du gaz produit : 0,4 × 4,76 × 3.608.....	6.844	
— consommé aux chaudières, 24 0/0 du gaz produit.....	4.536	
		13.255
RESTE : 29 0/0 environ du gaz produit.		5.495^{m3}

Ces 5.500 mètres cubes de gaz seraient capables de produire

$$\frac{5500}{14} = 393 \text{ chevaux-heures effectifs.}$$

Or le service des monte-charges, pompes, ..., absorbe 0,5 cheval effectif par tonne de coke ou 50 chevaux pour un haut fourneau de 100 tonnes. Il reste donc disponibles 393 — 50 = 343 chevaux-heures effectifs ou 3,5 chevaux-heures effectifs par tonne de coke consommée par vingt-quatre heures.

18. Bilan d'un haut fourneau avec soufflantes à vapeur quand on épure les gaz avant leur entrée aux Cowper. — On peut accroître cette puissance disponible en épurant le gaz avant de le brûler dans les récupérateurs ou sous les chaudières.

Admettons que les consommations correspondent aux coefficients suivants d'utilisation.

	Pour 100
Consommation aux récupérateurs (1).....	32
Consommation aux chaudières (2).....	21

(1) Gaz nécessaire pour chauffer 1 mètre cube de vent à 800°, 0^{m3},350.
(2) Production de 0^{kg},833 de vapeur d'eau à 4 ou 5 kilogrammes de pression par mètre cube de gaz brûlé sous les chaudières ; rendement en vapeur égal à 45 0/0 pour la chaudière.

Digitized by Google

Le bilan horaire du haut fourneau de 100 tonnes est alors :

Gaz produit au gueulard		18.750 mètres cubes
Gaz perdu au chargement, 10 0/0 du gaz produit	1.875 mètres cubes	
Gaz consommé aux Cowper, 32 0/0 du gaz produit : 0,35 × 4,76 × 3.600	6.000 —	
Gaz consommé aux chaudières, 21 0/0 du gaz produit	3.953 —	
TOTAL	—	11.828 —
RESTE : 37 0/0 du gaz produit		6.922 mètres cubes

Avec le nouveau chiffre de consommation admis pour les chaudières, la consommation horaire par cheval indiqué est

$$\frac{3953}{405} = 9^{m3},76,$$

et la consommation horaire par cheval effectif est

$$\frac{9,76}{0,8} = 12 \text{ mètres cubes environ.}$$

Les 6.922 mètres cubes de gaz en excédent peuvent donc produire

$$\frac{6922}{12} = 577 \text{ chevaux-heures effectifs.}$$

Si on compte 50 chevaux pour les divers services du haut fourneau, il reste disponibles

$$577 - 50 = 527 \text{ chevaux-heures effectifs,}$$

ou 5,27 chevaux-heures effectifs par tonne de coke consommée en vingt-quatre heures.

On voit donc qu'en employant des chaudières et des machines à vapeur fonctionnant dans de très bonnes conditions de marche industrielle, la puissance disponible après le service du haut fourneau est au maximum de 5 chevaux environ par tonne de coke consommée par vingt-quatre heures.

Nous allons voir maintenant qu'en utilisant directement dans des moteurs convenables le gaz de haut fourneau, nous aurons une puissance disponible environ 4 fois plus grande.

19. **Rendement d'un haut fourneau considéré comme gazogène. — Les soufflerie sont actionnées par des moteurs à gaz.** — Si, en effet, on peut arriver à une épuration suffisante des gaz, il semble que le haut fourneau puisse être considéré comme un très bon gazogène. Mais il convient de ne pas attribuer au haut fourneau considéré comme gazogène les valeurs de rendement de 57 0/0 et 75 0/0 indiquées par l'*Electrical Review*.

On peut, de la manière suivante, calculer le rendement du haut fourneau de 100 tonnes considéré comme gazogène, et cela pour une marche *pendant une heure* et en supposant que la soufflerie soit *actionnée par un moteur à gaz*.

Digitized by Google

La *quantité de chaleur dégagée* dans le haut fourneau se décompose en :

Chaleur dégagée par la combustion du coke :

$$\frac{7200 \times 100000}{24} = 30.000.000 \text{ calories}$$

Chaleur dégagée par le vent porté à 800° :

$$0{,}237 \times 800^\circ \times \frac{3^{m3},5 \times 1{,}293 \times 100000}{24} = 3.555.000 \text{ —}$$

Quantité totale de chaleur dégagée dans le haut fourneau..... 33.555.000 calories

Le haut fourneau fournit par kilogramme de coke $4^{m3},500$ d'un gaz dont le pouvoir calorifique est égal à 900 calories. En faisant brûler à la température ordinaire le volume de gaz produit pendant une heure, il y aurait dégagement de

$$\frac{4^{m3},500 \times 100000}{24} \times 900 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 16.041.666 \text{ calories}$$

Ce gaz sort du gueulard à une température de 150° environ ; en se refroidissant jusqu'à la température ordinaire, il serait susceptible de dégager

$$0{,}237 \times 150^\circ \times \frac{4^{m3},5 \times 1{,}293 \times 100000}{24} \ldots\ldots\ldots = 888.750 \text{ calories}$$

La quantité totale de chaleur qui est susceptible d'être dégagée par la combustion du volume de gaz produit en une heure ou le *nombre total de calories disponibles par heure* est :

Nombre total de calories disponibles par heure... = { 16.041.666 calories
888.750 —

16.930.416 calories

De ces calories disponibles, une partie est consommée par les fours à vent, une autre partie par les soufflantes actionnées par les moteurs à gaz.

Nous savons en effet que les Cowper consomment par heure 6.844 mètres cubes de gaz ; ils s'échauffent aux dépens de la chaleur dégagée par ce gaz, qui se refroidit de 150° à la température ordinaire et qui brûle à cette température.

En se refroidissant, le gaz dégage

$6844 \times 1{,}293 \times 0{,}237 \times 150 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots =$ 316.288 calories

En brûlant, il dégage..... $6.844 \times 900 =$ 6.159.600 —

Quantité totale de chaleur absorbée par les Cowper ou calories consommées aux Cowper..... = 6.475.888 calories

Nous verrons plus loin que les soufflantes à gaz consomment 1.300 mètres cubes de gaz par heure.

Ce volume de gaz produit en brûlant : $1.300 \times 900 =$ 1.170.000 —

Nombre total des calories consommées aux Cowper et aux soufflantes à gaz..... = 7.645.888 calories

Le nombre total des calories *utilisables* est donc par heure

$$16.930.416 - 7.645.888 = 9.284.528 \text{ calories.}$$

Digitized by Google

Le *rendement du haut fourneau considéré comme gazogène* est donc

$$\frac{9284528}{33555000} = 28\ 0/0 \text{ environ.}$$

20. Rendement d'un haut fourneau considéré comme gazogène. — Les soufflerie sont actionnées par des moteurs à vapeur. — Le rendement, que nous venons de calculer, est d'ailleurs bien supérieur à celui qui correspond à l'emploi de soufflantes à vapeur.

En effet, dans ce cas, le bilan précédent se transforme de la manière suivante.

Calories consommées aux Cowper ..... = 6.475.888

Nous avons vu plus haut que les soufflantes à vapeur consomment 5.832 mètres cubes de gaz à l'heure. Les calories dégagées par le refroidissement et la combustion de ce volume de gaz sont :

$5832 \times 1{,}293 \times 0{,}237 \times 150$	=	269.524 calories
5832×900	=	5.248.800 —
Calories consommées par les chaudières	=	5.518.324 calories
Nombre total de calories consommées aux Cowper et aux chaudières	=	11.994.212 calories

Calories *utilisables* = 16930416 — 11994212 = 4936204 calories.

$$\text{Rendement} = \frac{4936204}{33555000} = 15\ 0/0 \text{ environ.}$$

Le rendement du haut fourneau gazogène fonctionnant avec des soufflantes à vapeur est donc moitié moindre de celui du même haut fourneau fonctionnant avec des soufflantes à gaz.

21. Bilan horaire d'un haut fourneau fonctionnant avec des soufflantes à gaz. — Reprenons le bilan horaire du haut fourneau de 100 tonnes que nous avons établi plus haut.

Le volume de gaz produit au gueulard est de 18.750 mètres cubes.

On compte 10 0/0 pour les pertes et 36,5 0/0 pour le gaz consommé aux Cowper. Il reste donc inutilisés

$$18750 - [1875 + 6844] = 10031 \text{ mètres cubes.}$$

Or, d'après les nombreux résultats d'expériences de MM. Thwaite, Hubert, Scott [1], on peut admettre que, en alimentant un moteur à gaz avec du gaz de haut fourneau de pouvoir calorifique égal à 900 calories, on produit 1 *cheval-heure indiqué* avec une *consommation de* 3 *mètres cubes et* 1 *cheval-heure effectif* avec une *consommation de* 4 *mètres cubes.*

[1] Thwaite, 1894 (*Expériences sur un moteur Acmé*).
Thwaite et H. Allen, *The Blast Furnace as a Power Producer.*
Greiner, *Génie civil*, 1898.
Hubert, Congrès international de Métallurgie tenu à Paris en 1900.
Scott, *Engineering*, 1903.
La consommation de 3 mètres cubes par cheval-heure indiqué correspond à un rendement thermique indiqué de

$$\frac{75 \times 3600}{3 \times 900 \times 424} = 23\ 0/0.$$

La consommation de 4 mètres cubes par cheval-heure effectif correspond à un rendement thermique effectif de

$$\frac{75 \times 3600}{4 \times 600 \times 424} = 17\ 0/0.$$

Digitized by Google

D'autre part, comme nous l'avons vu plus haut, les soufflantes d'un haut fourneau de 100 tonnes doivent fournir aux tuyères par seconde $4^{m3},05$ d'air à une pression de 30 centimètres de mercure environ. En admettant un rendement de 50 0/0 entre le moteur et les tuyères, l'insufflation de ces $4^{m3},05$ correspond à une puissance de 405 chevaux indiqués ou 325 chevaux effectifs, si 80 0/0 est le rendement mécanique du moteur.

Ces 325 chevaux effectifs que nécessite la commande des soufflantes produisent, quand cette commande est faite au moyen de moteurs à gaz, une consommation par heure de

$$325 \times 4 = 1300 \text{ mètres cubes de gaz de haut fourneau.}$$

Le *bilan horaire d'un haut fourneau muni de soufflantes à gaz* est donc le suivant.

Gaz produit au gueulard ..... =		18.750 mètres cubes
— perdu au chargement..... =	1.875 mètres cubes	
— consommé aux Cowper..... =	6.844 —	
— consommé dans les soufflantes à gaz... =	1.300 —	
Total		10.019 —
Reste : 46,5 0/0 du gaz produit.....		8.731 mètres cubes

Si ces 8.731 mètres cubes de gaz sont employés dans des moteurs à gaz, ils sont susceptibles de produire

$$\frac{8731}{4} = 2.183 \text{ chevaux-heures effectifs environ.}$$

Si on compte 50 chevaux effectifs pour le service des monte-charges, etc., on voit qu'il reste disponibles 2.133 chevaux-heures effectifs. On peut donc compter, pour un haut fourneau consommant 100 tonnes de coke, sur une puissance disponible de 2.000 chevaux ou sur une *puissance disponible de* 20 *chevaux par tonne de coke consommée par vingt-quatre heures.*

22. Avantages économiques qui résultent de la substitution des moteurs à gaz aux moteurs à vapeur. — Transport d'énergie. — Prix du cheval-heure. — De ces chiffres résulte l'intérêt que peut avoir le maître de forges à remplacer ses machines à vapeur par des moteurs à gaz. En effet, d'une part, la surveillance et l'entretien seront diminués dans de notables proportions; d'autre part, l'excédent de puissance permet de fonder des ateliers nouveaux, d'améliorer l'éclairage ou les moyens de transport, et même, si le prix du cheval-heure est peu élevé, de créer des transports de force permettant de distribuer l'énergie dans un rayon plus étendu et de la vendre à un prix très rémunérateur. *L'important est que le prix du cheval-heure soit assez minime pour permettre un amortissement certain et rapide de toute l'installation.* D'après M. de Mocomble, on peut donner les chiffres suivants pour une installation de 4 moteurs de 600 chevaux effectifs (un moteur de rechange) utilisant les 2.000 chevaux disponibles fournis par un haut fourneau de 100 tonnes.

Deux épurateurs conjugués.....	60.000 francs
Quatre moteurs de 600 chevaux effectifs	400.000 —
Bâtiments	200.000 —
Coût total de l'installation	660.000 francs

Digitized by Google

Le compte d'exploitation peut s'établir de la façon suivante :

Amortissement en 10 ans de toute l'installation.....	66.000 francs
Intérêt du capital à 5 0/0.....	33.000 —
Graissage et fournitures diverses.....	20.000 —
Frais d'entretien et de surveillance.....	50.000 —
Frais d'exploitation.....	169.000 francs

On peut donc compter sur 170.000 francs de frais d'exploitation pour la production de 2.000 chevaux effectifs pendant toute une année.

Le cheval-an revient donc à

$$\frac{170000}{2000} = 85 \text{ francs}$$

et le cheval-heure à

$$\frac{85}{366 \times 24} = 1 \text{ centime environ.}$$

Ce prix de revient est assez avantageux pour que l'industriel réalise une telle installation.

23. Avantages économiques qui résultent de la substitution des moteurs à gaz aux moteurs à vapeur. — Services d'une aciérie. — Là où l'avantage de l'emploi des moteurs à gaz se marque nettement est le cas suivant. *Supposons que le haut fourneau soit installé près d'une aciérie pour le service de laquelle on ait besoin d'une puissance de* 1.300 *à* 2.000 *chevaux effectifs.*

Si le haut fourneau possède des soufflantes à gaz, l'emploi de moteurs à gaz alimentés avec l'excès disponible du gaz produit permet de fournir cette puissance avec une dépense de 0 fr. 01 par cheval-heure.

Supposons, au contraire, que l'on brûle sous des chaudières l'excédent de gaz de haut fourneau; les 8.731 mètres cubes de cet excédent sont capables de produire

$$\frac{8731}{14} = 624 \text{ chevaux effectifs.}$$

Si on veut produire la même puissance qu'avec les moteurs à gaz alimentés par ces 8.731 mètres cubes, il faut une installation supplémentaire de chaudières et de machines à vapeur d'une puissance de 2.000 chevaux. Il est alors convenable d'installer deux moteurs de 1.000 chevaux.

Quel serait le coût de cette installation supplémentaire?

Pour l'évaluer, nous nous baserons sur un rapport présenté récemment par *MM. Gœrich, Zuber et de Lacroix à la Société industrielle de Mulhouse.* D'après ce rapport, le cheval-an, pour des moteurs à vapeur de 100 chevaux, reviendrait à 112 francs et le cheval-heure à 0 fr. 034, ce qui peut être considéré comme un minimum dans tous les cas. Mais il faut remarquer que les auteurs du rapport ont compté sur une marche annuelle de 3.300 heures, alors qu'ici nous devons admettre une marche continue. Pour que nos résultats soient comparables avec les résultats précédents obtenus avec des moteurs à gaz, nous admettrons une durée de marche de vingt-quatre heures pendant trois cent soixante-cinq jours.

Digitized by Google

Dans ces conditions, nous aurons, en adoptant les mêmes coefficients que dans le rapport cité plus haut.

Installation de deux moteurs à vapeur de 1.000 chevaux, y compris bâtiments, cheminée et tous accessoires...	500.000 francs
Frais d'exploitation :	
Consommation de houille comptée à 20 francs la tonne ($0^{kg},8$ par cheval-heure effectif), soit par an $0,8 \times 2.000 \times 24 \times 365 \times 0,020$.....	280.000 francs
Graissage.....	16.000 —
Chauffeurs.....	24.000 —
Entretien, réparations et fournitures diverses.....	40.000 —
Amortissement et intérêt (15 0/0).....	75.000 —
Frais d'exploitation.....	435.000 francs

Le prix du cheval-an est donc de

$$\frac{435000}{2000} = 217 \text{ fr. } 5 \text{ ou approximativement } 220 \text{ francs.}$$

Le prix du cheval-heure revient à

$$\frac{220}{24 \times 365} = 0 \text{ fr. } 025 \text{ environ.}$$

Ainsi, dans le cas actuel, même en ne comptant pas les machines de rechange, on réalise par an une économie de

$$(220 - 85)\ 2000 = 370000 \text{ francs}$$

en utilisant directement dans des moteurs à gaz l'excédent de gaz produit par le haut fourneau.

24. Avantages économiques qui résultent de la substitution des moteurs à gaz aux moteurs à vapeur. — Transformation d'une installation de moteurs à vapeur complètement amortie. — Supposons enfin (et c'est là un cas très fréquent) que l'on veuille transformer une installation déjà faite de chaudières et de machines à vapeur en une installation de moteurs à gaz utilisant directement l'excès de gaz produit au gueulard. Quelle est l'économie que l'on peut réaliser en faisant une telle transformation?

Admettons que la première installation ait été complètement amortie. Les dépenses d'exploitation avec chaudières et machines à vapeur seraient :

Dépense annuelle en charbon.....	280.000 francs
Graissage.....	16.000 —
Chauffeurs.....	24.000 —
Entretien.....	40.000 —
	360.000 francs

soit par cheval-an

$$\frac{360000}{2000} = 180 \text{ francs}$$

et par cheval-heure

$$\frac{180}{8760} = 0 \text{ fr. } 02.$$

L'économie réalisée par la transformation sera donc de

$$(180 - 85)\ 2000 = 190000 \text{ francs.}$$

Digitized by Google

On voit donc finalement qu'il y a grand intérêt à utiliser directement l'excédent des gaz sortant du gueulard dans des moteurs à gaz.

25. Quelques mots d'historique sur l'utilisation directe des gaz de hauts fourneaux pour la production de la force motrice. — Les premiers essais d'utilisation des gaz de hauts fourneaux pour l'alimentation des moteurs à gaz datent de 1894-1895; ils ont été réalisés presque simultanément en Angleterre, en Allemagne et en Belgique.

D'après *J. Riley*, directeur général de la *Glasgow Iron and Steel Company*, l'offre d'une installation de moteurs à gaz de hauts fourneaux lui aurait été faite à la fin de 1894, par *MM. Thwaite* et *Gardner*, qui ont installé un moteur à gaz *Acmé* de 30 chevaux aux fourneaux de *Wishaw* et l'ont employé pour actionner une dynamo servant à l'éclairage.

En Allemagne, ce serait l'usine de *Hoerde* qui aurait fait le premier essai vers la même époque [en octobre 1895, d'après M. Dutreux (*Génie civil*, juillet 1898)]; mais cette tentative a été entourée au début d'un mystère tel qu'il est difficile d'en préciser la date.

En Belgique, la Société *Cockerill* prend, le 15 mai 1895, sur la proposition de deux de ses ingénieurs, *MM. A. Bailly* et *F. Kraft*, un brevet pour ce nouvel emploi des gaz de hauts fourneaux. Le moteur choisi pour cet essai par ces ingénieurs est le moteur *Simplex*, de *MM. E. Delamare-Deboutteville* et *Malandin*, qui ont réalisé à cette époque le plus gros moteur à gaz connu, moteur dont les qualités sont appréciées.

Un premier moteur de 8 chevaux est installé aux hauts fourneaux Cockerill et fonctionne dès le 27 décembre 1895. Les expériences entreprises sur ce moteur par *MM. Hubert* et *Witz*, avec l'aide de *MM. Bailly* et *Kraft*, montrent que le moteur fonctionne bien, qu'il se prête aux variations de pression et de composition résultant du travail des hauts fourneaux : malgré des conditions de marche très désavantageuses, la consommation de gaz, par cheval-heure indiqué, n'atteint que 4 mètres cubes environ, tandis qu'elle s'élève à $5^{m3},300$ par cheval-heure effectif.

Malgré cette dépense considérable, les résultats semblent assez satisfaisants pour qu'on se décide à entrer résolument dans la voie de l'application en grand. Dès le commencement de 1897, la Société *Cockerill* met en construction un moteur de 200 chevaux, destiné à actionner un compresseur d'air; puis, en 1899, elle établit un moteur monocylindrique de 600 chevaux, commandant directement une machine soufflante par le prolongement arrière de la tige du piston. Enfin, étendant sa construction, cette Société fournit aujourd'hui des moteurs à double effet, capables de développer jusqu'à 1.500 chevaux effectifs par cylindre. Nous donnerons dans le prochain chapitre des renseignements sur quelques-unes des installations de la Société Cockerill.

A la suite des succès obtenus par la Société Cockerill dans ses premiers essais d'utilisation directe des gaz des hauts fourneaux pour la production de la force motrice, un grand nombre de firmes allemandes entrent dans la même voie et construisent les unes des moteurs à gaz à quatre temps, les autres des moteurs à gaz à deux temps. Le nombre de ces moteurs en exploitation aujourd'hui s'est considérablement développé dans les usines allemandes; leur puissance totale dépasse 352.000 chevaux effectifs. Le tableau XX donne les puissances des moteurs installés en Allemagne.

26. Objections que l'on faisait en 1898 à l'alimentation directe des moteurs à gaz par le gaz de haut fourneau. — L'adoption du gaz de haut fourneau

Digitized by Google

TABLEAU XX

MACHINES A GAZ DE HAUT FOURNEAU DANS LES

[D'après H. Hoffmann, *Kraftgewinnung und Kraftverwertung in Berg und*

USINES DANS LESQUELLES LES MOTEURS SONT INSTALLÉS	MOTEURS A QUATRE TEMPS A SIMPLE EFFET			
	COCKERILL	DEUTZ	NÜREMBERG	DIVERS
	chev. effectifs	chev. effectifs	chev. effectifs	chev. effectifs
Friedrich Alfred-Hütte (Krupp), Rheinhausen	»	»	»	»
Rombacher Hüttenwerke, Rombach	»	»	2.400	»
Deutsch-Luxemburg, Bergwerks- und Hüttengesellschaft, Differdingen (Differdange)	4.200 C	»	»	»
Rheinische Stahlwerke A.-G., Meiderich	600 C	»	800	»
Gewerkschaft « Deutscher Kaiser », Brückausen	»	»	»	»
Röchlingsche Werke A.-G., Völklingen und Carlshütte	3.600 M 2.600 C	»	1.300	»
Gutehoffnungshütte A.-G., Oberhausen-Rheinland	»	4.200	»	»
Union A.-G. für Bergbau-Eisen und Stahlindustrie, Dortmund	»	»	»	»
Hasper Eisen- und Stahlwerk A.-G., Haspe (Westphalie)	»	»	»	»
Schalker Gruben- und Hüttenverein A.-G., Gelsenkirchen	»	»	»	»
Aktiengesellschaft für Hüttenbetrieb, Meiderich	»	»	»	»
Ilseder Hütte A.-G., Gross-Ilsede (Hanovre)	»	»	»	»
Eisen- und Stahlwerk Hoesch A.-G., Dortmund	»	600	»	»
Eisenhütten-Aktien-Verein Düdelingen, Düdelingen (Dudelange) (Luxembourg)	»	3.200	»	»
Hoerder Bergwerks und Hüttenverein A.-G , Hoerde	»	2.000	»	»
Oberschlesische Eisenbahnbedarfs A.-G., Friedenshütte	»	1.250	»	»
Lothringer Hüttenverein Aumetz-Friede, Kneuttingen	600 C	500	700	»
Aachener Hütten-Aktien-Verein, Esch a. d. Alzette	1.200 C	»	»	1.200 L. Soest & C°.
Gebrüder Stumm, Neunkirchen- und Uekkingen	»	»	»	»
Burbacher Hütte A.-G., Burbach	»	1.800	»	»
Heinrichshütte (Henschel- und Sohn, Cassel), Hattingen	»	»	»	»
Georg Marien-Bergwerks- und Hüttenverein, Osnabrück	»	»	»	»
Bochumer Verein für Bergbau- und Gusstahlfabrikation, Bochum	»	»	»	»
Niederrheinische Hütte A.-G., Duisburg-Hochfeld	»	»	»	»
Moselhütte A.-G., Maizières près de Metz	»	»	»	»
Dillingen Hüttenwerke A.-G., Dillingen	»	»	»	»
Hüstener Gewerkschaft, Hüsten	»	»	»	»
Donnersmarckhütte A.-G., Zabrze (Haute-Silésie)	»	»	»	600
Phönix A.-G., für Bergbau und Hüttenbetrieb, Laar près de Ruhrort	»	»	1.600	»
Usines diverses :				
Usine Dommedingen, Société Mansfeld, Böcking und C°, Buderus, Maximilianhütte, etc	»	700	»	600
TOTAL	12.800	14.250	6.800	2.400
	36.250 chevaux effectifs			

NOTA. — C, construction Cockerill à Seraing.
E, construction Elsässische Maschinenbau-Gesellschaft (Société alsacienne de construction de machines).
M, construction Märkische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.

Digitized by Google

TABLEAU XX

USINES MÉTALLURGIQUES ALLEMANDES (MAI 1906)

Hüttenwerken (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, t. L, n° 39)]

MOTEURS A DEUX TEMPS		MOTEURS A QUATRE TEMPS A DOUBLE EFFET							PUISSANCE TOTALE
ECHELHAUSER	KÖRTING	NÜREMBERG	DEUTZ	BERHARDT ET SEHMER	ELSASSISCHE MAS.-GESELLS	MÄRKISCHE MAS.-GESELLS ET COCKERILL	THYSSEN UND C°	DIVERS	
chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chev. effect.	chevaux effectifs
2.000	12.800	9.600	600	2.400	3.600	»	»	5.600 Krupp	36.600
»	»	16.100	»	»	4.200	»	»	»	22.700
1.000	1.800	5.900	»	»	7.500	»	»	»	20.400
»	»	9.600	»	»	»	5.700 M	»	»	16.700
»	»	1.600	»	»	»	»	15.000	»	16.600
»	1.800	6.800	»	»	»	»	»	»	16.100
»	10.500	»	»	»	»	»	»	600 Gutehoffnungshütte	15.300
3.100	1.000	»	»	»	»	»	7.400	3.600 Schüchtermann et Kremer	15.100
»	1.500	12.750	»	»	»	»	»	»	14.250
»	»	12.700	»	»	»	»	»	»	12.700
»	»	»	»	»	»	»	11.600	»	11.600
9.400	500	1.250	»	»	»	»	»	»	11.150
»	3.600	»	2.400	4.400	»	»	»	»	11.000
»	2.000	5.600	»	»	»	»	»	»	10.800
1.800	1.000	»	4.600	»	»	1.200 M	»	»	10.600
»	»	2.850	2.000	3.600	»	»	»	»	9.700
»	»	5.300	»	650	600	650 M	»	»	9.000
»	»	1.500	»	»	1.500	2.400 C	»	»	7.800
»	3.600	»	»	2.000	»	»	»	»	5.600 + Un moteur à gaz de coke de 2.200 chevaux
»	»	1.500	»	2.600	»	»	»	»	5.900 + Un moteur à gaz de coke de 1.200 chevaux
»	»	7.000	»	»	»	»	»	»	7.000
»	»	6.000	»	»	»	»	»	»	6.000
»	3.600	»	»	»	»	»	»	»	5.600
»	2.800	1.500	»	1.000	»	»	»	»	5.300
»	»	5.300	»	»	»	»	»	»	5.300
»	»	2.000	»	2.200	»	»	»	»	4.200
»	1.100	1.500	1.500	»	»	»	»	»	4.100
»	3.500	»	»	»	»	»	»	»	4.100
1.500	750	10.600	»	»	»	»	3.600	»	18.050
2.600	5.000	2.500	»	2.200	»	»	»	»	13.600
21.400	58.850	129.450	11.100	21.050	17.400	9.950	37.600	9.800	352.850
80.250 chev. effect.		236.350 chevaux effectifs							

Digitized by Google

pour l'alimentation des moteurs à gaz a soulevé diverses objections en 1898, à l'époque des premiers essais. Ces objections étaient tirées :

1° Du faible pouvoir calorifique de ce gaz et de la difficulté que l'on aurait à l'enflammer ;

2° Des variations de composition de ce gaz ;

3° Des dimensions exagérées qu'il faudrait donner aux cylindres ;

4° De la difficulté de construire des moteurs à gaz de plus de 100 chevaux ;

5° De la variation de leur rendement à demi et à pleine charge ;

6° De l'impossibilité de les atteler directement aux machines soufflantes ;

7° De la grande quantité de poussières qu'ils entraînent.

Aujourd'hui, il reste bien peu de choses de toutes ces objections.

27. La pratique a répondu aux objections du début sur l'utilisation des gaz de hauts fourneaux dans les moteurs à gaz. — L'adoption de *compressions plus élevées* a permis de résoudre la première difficulté relative au faible pouvoir calorifique et à la difficulté d'allumage.

Pour un même haut fourneau, l'expérience a montré, d'une part, que les variations de pouvoir calorifique du gaz ne dépassaient pas 10 0/0; d'autre part, que ces variations ainsi que l'influence de la pression du gaz n'avaient pas d'action appréciable sur le fonctionnement des moteurs à gaz, surtout lorsque plusieurs hauts fourneaux étaient à feu simultanément.

Les objections tirées des dimensions exagérées des cylindres, de la difficulté de construire des moteurs de plus de 100 chevaux, de l'impossibilité de les atteler directement aux machines soufflantes, n'existent plus aujourd'hui. Nous avons vu, en effet, que l'on construisait actuellement des moteurs de 1.500 chevaux dans un cylindre actionnant directement des souffleries.

Les variations de charge ne sont pas non plus un obstacle à l'emploi du moteur à gaz de haut fourneau. Il résulte, en effet, d'essais faits par M. Hubert[1], en 1901, sur un moteur Cockerill de 200 chevaux, que les variations du rendement thermique à pleine charge et à demi-charge ne sont pas considérables. On a en effet les résultats suivants.

RENDEMENT THERMIQUE DU CYLINDRE

	7 novembre	14 novembre	2 décembre
1/2 charge	18,6 0/0	24,8 0/0	18,4 0/0
3/4 charge	23,2 —	23,2 —	23,1 —
Pleine charge	19,5 —	21,9 —	21,3 —

En réalité, ce moteur est très souple et se plie à des conditions de marche très différentes. On a pu faire varier brusquement la pression de 45 à 62 centimètres de mercure à la machine soufflante sans qu'il arrivât autre chose qu'un ralentissement de la vitesse du moteur, conséquence logique de l'augmentation du travail résistant.

La plus grande difficulté que l'on ait rencontrée dans l'utilisation du gaz de haut fourneau dans les moteurs à gaz est venue de la présence des poussières. Il a fallu, pour les éliminer, perfectionner considérablement les appareils d'épuration.

Nous allons maintenant insister sur les procédés employés pour l'épuration.

(1) H. Hubert, *Sur quelques progrès récents des moteurs à gaz de haut fourneau* (*Revue universelle des Mines et de la Métallurgie*, 46e année, 3e série, t. LIX, septembre 1902).

Digitized by Google

28. Les premiers essais de la Société Cockerill ne nécessitent pas une épuration spéciale des gaz de hauts fourneaux. — Au début de leurs études sur l'alimentation des moteurs à gaz au moyen des gaz de hauts fourneaux, les ingénieurs de la Société Cockerill n'ont pas eu à se préoccuper d'une épuration particulièrement soignée des gaz. Par suite de la nature spéciale des minerais traités, le gaz produit à Seraing ne contient que $0^{gr},25$ à $0^{gr},50$ de poussières par mètre cube. Il suffit, pour le purifier, de lui faire traverser avant d'arriver au moteur :

1° Une chambre de dépôt voisine des hauts fourneaux, du type des *chambres silésiennes*, divisée en quatre compartiments par des chicanes et dont les dimensions sont

$$13^m,50 \times 2^m,75 \times 12 \text{ mètres};$$

2° Un épurateur de 5 mètres de diamètre et de $6^m,40$ de hauteur;

3° Un appareil refroidisseur consistant en une caisse en tôle également divisée par des chicanes où le gaz reçoit des jets d'eau lancés par quatre injecteurs Kœrting de $0^m,010$; lesdimensions de cet appareil sont $5^m \times 7^m \times 2^m,40$, et sa capacité est d'environ 70 mètres cubes (1).

Ces simples appareils épurateurs sont suffisants pour que des moteurs de 600 chevaux à simple effet (type de l'Exposition de 1900) puissent fonctionner pendant plusieurs mois sans qu'aucun inconvénient dû aux poussières vienne à se manifester.

29. Difficultés rencontrées avec les gaz très poussiéreux de Differdange. — Mais, quand les ingénieurs de Seraing mettent en marche, au mois d'août 1900, la première des neuf machines à gaz de 600 chevaux installées à Differdange (grand-duché de Luxembourg), ils sont obligés, au bout de trois semaines, d'arrêter le moteur dans lequel s'est accumulée une grande quantité de poussière. L'analyse des gaz de Differdange montre l'existence de 4 à 5 grammes de poussières par mètre cube, c'est-à-dire 10 fois plus qu'à Seraing. Les appareils d'épuration employés primitivement aux usines Cockerill sont tout à fait insuffisants pour épurer le gaz destiné à l'alimentation des moteurs.

30. La période de la recherche de l'épuration des gaz dans l'industrie de la fonte. — Les ingénieurs anglais et allemands qui, à cette époque, sont les protagonistes du nouveau mouvement industriel, se heurtent aux mêmes difficultés d'épuration. L'industrie de la fonte entre alors dans la période dite de *recherche de l'épuration des gaz* qui conduit à l'invention d'une multitude de systèmes épurateurs. Ces études semblent, à l'heure actuelle, avoir abouti. On sait quelle est la méthode à suivre pour épurer le gaz destiné à l'alimentation des moteurs. On possède quelques appareils d'épuration fonctionnant actuellement dans de bonnes conditions.

Nous allons indiquer ici quels sont les principes à suivre pour aboutir à l'épuration donnant le meilleur emploi des gaz de hauts fourneaux aux Cowper et aux moteurs à gaz.

31. Influence de la nature du minerai sur la teneur en poussière des gaz de hauts fourneaux. — Lorsqu'on dose les poussières contenues dans les gaz de divers hauts fourneaux, on voit que ces gaz sont *plus propres* (moins chargés de poussières) dans les usines qui font des *fontes hématites avec des minerais durs en morceaux ou en mélange avec des purple ores* (*minerais pourpres*) : ces gaz sont d'ailleurs plus faciles à épurer, car leurs

(1) Hubert, *Utilisation directe des gaz de hauts fourneaux* (Congrès de la Métallurgie, 1900).

Digitized by Google

poussières, toujours lourdes, se déposent dans les premières caisses ou tubes, tout près des hauts fourneaux et ne sont pas entraînées très loin. C'est ce qui arrive à Seraing. Au contraire, à Differdange et généralement dans le Luxembourg, les gaz sont très poussiéreux, parce que les usines traitent des *minerais oolithiques dont la gangue est une sorte d'argile que la chaleur dessèche et que le courant gazeux transporte au loin.* Les gaz produits dans ces conditions tiennent en suspension des poussières très fines qui ne se déposent ni dans les conduites de plusieurs centaines de mètres, ni dans les scrubbers ordinaires.

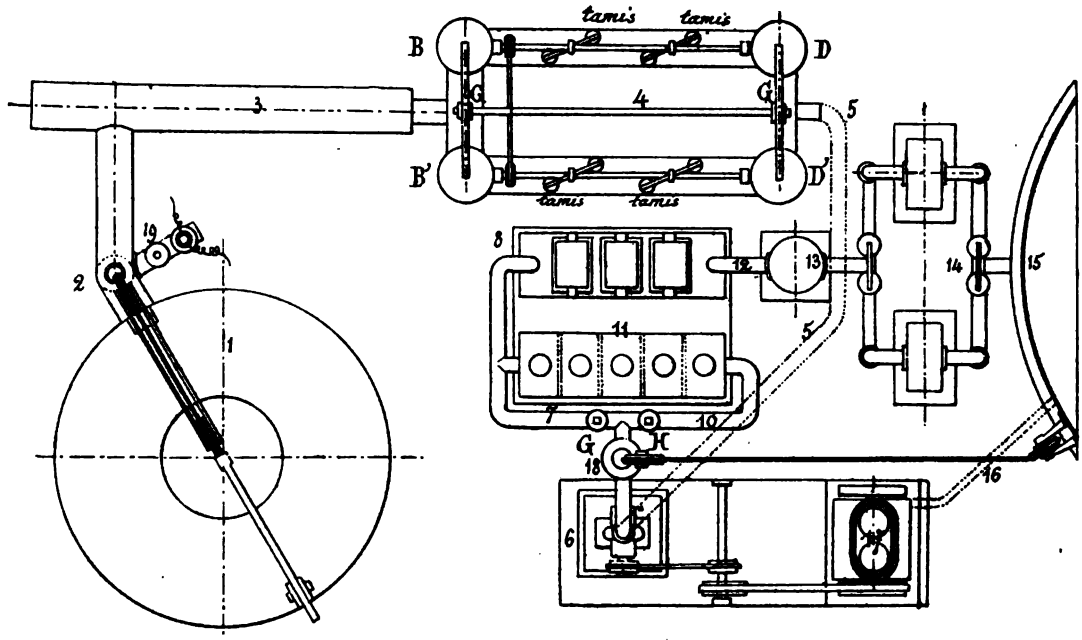


Fig. 116. — Plan d'ensemble des épurateurs du Blast Furnace Power Syndicate.

32. Classification des appareils d'épuration des gaz de hauts fourneaux. — Les appareils d'épuration qui ont été proposés pour arrêter ces poussières appartiennent à deux types, suivant la classification proposée par M. Greiner (1).

1° Les *épurateurs statiques*, qui consistent en une série de scrubbers ou colonnes en tôle, contenant du coke ou de la paille de bois sur laquelle coule de l'eau ;

2° Les *épurateurs dynamiques*, basés sur la réaction produite par la force centrifuge sur le mélange du gaz et des poussières en contact avec une *pluie d'eau introduite dans l'appareil.* Les matières solides et liquides entraînées à la périphérie de l'appareil sont expulsées par des ouvertures placées à la circonférence, tandis que les gaz violemment fouettés sortent purifiés à l'une des extrémités de l'appareil.

33. Appareils statiques. — Épurateur Thwaite-Gardner. — Les *appareils statiques* introduits en Angleterre par Thwaite ont été employés en Allemagne à la *Georgsmarienhütte*, près d'Osnabrück ; à la *Gutehoffnungshütte ;* à la *Friedenshütte*, en Haute-Silésie.

La figure 116 représente le plan d'ensemble d'un épurateur statique Thwaite-Gardner installé au *Blast Furnace Power Syndicate.* Le gaz qui sort du haut fourneau 1 est conduit par un tuyau 2 à un collecteur 3 qui l'amène à un séparateur de poussières 4. Ce séparateur, sorte de tamis agissant à sec, se compose de deux chambres semblables, où les gaz

(1) Greiner, *la Poussière dans les gaz des hauts fourneaux* (*Génie civil*, t. XXXIX, 1901, p. 25).

Digitized by Google

pénètrent par deux valves B, B′ et s'échappent de même en D, D′. Ces quatre valves sont identiques ; elles sont commandées ensemble par un arbre parallèle aux tamiseurs entraînant les deux leviers G et G′. Ces quatre valves sont ainsi solidaires, et, quand celles de l'un des tamis sont levées, celles de l'autre sont fermées. Les tamis sont formés chacun de deux toiles métalliques parallèles montées sur un cadre ; ils sont vigoureusement secoués afin d'empêcher que les poussières n'adhèrent et n'obstruent le passage (1).

C'est après cette première épuration à sec que les gaz sont aspirés au ventilateur 6 par la conduite 5.

Ce ventilateur refoule le gaz soit directement dans le refroidisseur 12, soit d'abord dans un laveur 11, puis dans le refroidisseur 12. En sortant du ventilateur, les gaz rencontrent d'abord, en 18, une soupape, dite soupape de sûreté du gazomètre, qui interrompt le passage des gaz dès que celui-ci est plein.

En sortant du refroidisseur 12, le gaz traverse un scrubber à coke 13 qui lui fait subir une filtration grossière parachevée dans les filtres à sciure 14. Les gaz s'accumulent ensuite dans le gazomètre 15, d'où, par la conduite 16, ils se rendent directement au moteur 17.

La plupart de ces appareils sont en double et des valves de renversement permettent d'envoyer les gaz soit dans une série d'appareils, soit dans l'autre, afin de permettre le nettoyage des divers éléments sans être obligé d'arrêter ou de gêner en quoi que ce soit la marche de l'opération.

34. Inconvénients que présentent les appareils statiques. — Ces appareils statiques (2) possèdent l'inconvénient d'être un peu encombrants et coûteux d'installation. Ainsi, d'après l'installation de Friedenshütte, pour arriver à n'avoir plus que quelques milligrammes de poussière par mètre cube, il faudrait dépenser environ 615.000 francs pour épurer le gaz produit par un haut fourneau de 100 tonnes. Or, nous le verrons, il est indispensable d'atteindre ce degré d'épuration pour alimenter des moteurs à gaz. On est arrivé à diminuer l'encombrement et le prix de ces installations statiques Thwaite-Gardner. Mais, comme le font remarquer M. A. Bailly (3) et M. E. Bian (4), ces appareils ne rendent de véritables services que pour l'épuration des gaz de haut fourneau destinés à desservir des installations de 4 à 500 chevaux ; ils deviennent tout à fait impraticables dès qu'il s'agit des installations actuelles de plusieurs milliers de chevaux.

35. Méthode dynamique. — Aussi est-ce à la méthode dynamique que l'on s'adresse aujourd'hui pour épurer le gaz des hauts fourneaux. Mais *cette méthode ne peut conduire à un bon résultat que si l'on suit certaines règles qui ont été indiquées par la pratique* et sur lesquelles il est maintenant nécessaire d'insister.

(1) Il paraît que l'effet de ces tamis est beaucoup plus actif lorsque, entre leurs toiles, passent des décharges électriques. Les poussières, quand elles sont très sèches et dans un milieu non conducteur, sont facilement retenues. C'est l'appareil d'épuration électro-statique qui ne semble pas avoir été adopté. On trouvera des renseignements sur ce mode d'épuration dans le mémoire suivant :

Ch. de Mocomble, *De l'utilisation des gaz de haut fourneau*, 2e partie, p. 204 (*Revue de Métallurgie*, 2e année, mars 1905).

(2) On trouvera les détails concernant ces appareils statiques dans les publications suivantes :

De Mocomble, *loc. cit.* — Ce mémoire contient aussi d'intéressants détails sur les installations allemandes de Friedenshütte, Hœrde, Donnersmarckhütte, Gutehoffnungshütte ;

J. Deschamps, *l'Epuration des gaz de haut fourneau* (*Revue de Mécanique*, t. VIII, p. 623) ;

Lencauchez, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, juin 1902 ;

Tessier, *Bulletin technologique*, avril 1893 ;

Gouvy, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, janvier 1903.

(3) A. Bailly, Congrès de Métallurgie, Liège, séance du 27 juin 1905.

(4) E. Bian, *Epuration des gaz de haut fourneau* (Congrès de Métallurgie, Liège, 1905).

Digitized by Google

36. Degré d'épuration des gaz destinés à l'alimentation des moteurs. — Et d'abord quel est le degré d'épuration auquel on doit parvenir pour les gaz destinés à l'alimentation des moteurs ? Ce degré d'épuration demandé actuellement par les constructeurs est descendu jusqu'à $0^{gr},02$ par mètre cube au lieu de $0^{gr},10$ et $0^{gr},05$ dont on se contentait il y a quelque temps [1].

37. Nécessité de l'épuration de la totalité des gaz de hauts fourneaux. — D'autre part, nous l'avons vu plus haut, de grands avantages économiques résultent de l'épuration des gaz distribués aux Cowper et aux chaudières. Aussi remarque-t-on bien vite qu'il est beaucoup trop coûteux d'épurer uniquement les gaz destinés à l'alimentation des moteurs et qu'il vaut mieux réaliser l'épuration de la *totalité* des gaz produits par les fourneaux.

38. Divers degrés d'épuration des gaz produits par les hauts fourneaux. — Cette épuration n'a pas besoin d'être poussée au même degré pour cette totalité des gaz produits. La marche à suivre pour aboutir à une *épuration donnant le meilleur emploi de ces gaz aux Cowper et aux moteurs à gaz consiste à faire deux épurations successives :*

a) *Une première opération ayant pour but d'épurer la totalité du gaz jusqu'à une teneur en poussière de* $0^{gr},5$ *par mètre cube, teneur qui n'est plus nuisible aux Cowper et aux chaudières ;*

b) *Une deuxième opération ayant pour but d'épurer la quantité de gaz destinée aux moteurs depuis* $0^{gr},5$ *jusqu'à une limite maximum de* $0^{gr},02$ *par mètre cube.*

39. Il est nécessaire de refroidir les gaz sortant du gueulard avant de les soumettre à l'épuration dynamique. — Pour réaliser cette épuration, il importe de refroidir les gaz sortant du gueulard avant de les soumettre à l'épuration dynamique.

C'est en effet, comme on l'a reconnu, la haute température du gaz qui rend son épuration particulièrement difficile. Si on met ce gaz en contact intime avec de l'eau, comme cela arrive dans les épurateurs dynamiques, il se charge d'une grande quantité de vapeur d'eau ; or celle-ci maintient en suspension les poussières les plus rebelles qu'il s'agit de supprimer. En refroidissant le gaz, on provoque en même temps la précipitation d'une partie de la vapeur d'eau qu'il contient, et cette précipitation entraîne une grande partie des poussières. *Le gaz n'est pas suffisamment purifié, mais il se trouve parfaitement préparé pour être complètement purifié par la force centrifuge dans les appareils dynamiques.* L'expérience a en effet montré que *ceux-ci ne refroidissent pas le gaz soumis à leur action ; ils ne peuvent, par suite, donner de bons résultats qu'avec des gaz froids ayant subi déjà de ce chef un commencement d'épuration.*

Un refroidissement suffisamment intense du gaz destiné aux Cowper ou aux moteurs est absolument nécessaire pour d'autres raisons. Les gaz chauds très chargés de vapeur d'eau au sortir des appareils dynamiques brûlent mal ou ne brûlent plus du tout dans les appareils Cowper ; si on les envoie dans les moteurs, la vapeur d'eau se condense sur toutes les parois froides, notamment sur les organes internes des moteurs au moment de la mise en route, lorsque les cylindres sont froids. Cela ne présenterait pas un très grand inconvénient s'il n'y avait pas dans les cylindres les pièces isolées des appareils d'allumage ; les isolants, se

[1] Il est bien entendu que cette teneur de $0^{gr},02$ en poussières par mètre cube de gaz n'est qu'une limite maximum ; dans ces conditions, il faut nettoyer les boîtes des soupapes d'admission tous les mois environ ; il y a donc intérêt à abaisser cette limite aussi loin que possible.

Digitized by Google

recouvrant d'humidité, donnent en effet des courts-circuits, et l'on a des ratés d'allumage.

On comprend donc toute l'importance qu'il y a à opérer un refroidissement préalable du gaz avant son entrée dans les épurateurs dynamiques.

40. Refroidissement des gaz sortant du gueulard. — Pour opérer ce refroidissement, les uns ont utilisé la longueur même des conduites de gaz des hauts fourneaux aux appareils d'épuration, d'autres ont installé des cylindres en tôle à injection d'eau avec empilage de coke (scrubbers) ou autres matières telles que le bois par exemple (refroidisseur Zschocke). Nous verrons plus loin quelques-unes de ces installations employées pour l'épuration des gaz de fours à coke.

41. Appareil Bian pour le refroidissement des gaz sortant du gueulard. — L'appareil *Bian* (1), tel qu'il est installé à l'usine de Dommeldange (près Luxembourg), semble répondre parfaitement au but tout spécial du refroidissement du gaz. Cet appareil consiste essentiellement en une carcasse métallique à l'intérieur de laquelle tourne *lentement* un arbre horizontal muni d'une série de disques verticaux de $3^m,20$ de diamètre constitués par des treillis métalliques. Ces disques plongent jusqu'à la moitié de leur diamètre dans de l'eau qui est constamment renouvelée. Les gaz, entrant à une température très élevée dans l'appareil, se trouvent immédiatement en contact avec de gros treillis métalliques recouverts d'un grand nombre de petites lamelles d'eau très minces, qui sont évaporées instantanément par les gaz chauds. Par ce fait, le gaz se refroidit et en même temps se charge de vapeur d'eau. En continuant sa course dans l'appareil, le gaz se refroidit de plus en plus. A un moment donné, les lamelles d'eau jouent sur le gaz suffisamment froid le rôle de condenseur. La vapeur d'eau contenue dans le gaz se condense au contact des treillis métalliques froids et recouverts de facettes d'eau froide.

En même temps que s'opère cette condensation de vapeur d'eau, *une partie des poussières imbibées d'eau se précipite.*

Cet appareil permet de refroidir le gaz depuis la température de 185° à la température de 30°. Il nécessite une faible consommation d'eau de lavage et une dépense minime de force motrice, dépense inférieure à 1/10 de cheval par mètre cube de gaz épuré par minute. Ces deux avantages sont obtenus par le très grand diamètre des disques tournants et par la rotation très lente de ces disques.

Avec cet appareil, on peut épurer la totalité des gaz d'un haut fourneau jusqu'à la teneur maximum de $0^{gr},5$ de poussières par mètre cube de gaz, en vue de son utilisation dans les appareils Cowper et les chaudières.

La partie du gaz nécessaire pour la production de la force motrice dans les moteurs à gaz doit encore subir une épuration plus parfaite et atteindre une limite supérieure de $0^{gr},02$ par mètre cube de gaz.

42. Appareils dynamiques employés dans l'épuration des gaz de hauts fourneaux. — Les appareils qui permettent de pousser aussi loin cette épuration sont des appareils *dynamiques*. Ils appartiennent à deux types :

1° Les *épurateurs à tambour du type Theisen;*

2° Les *ventilateurs-épurateurs.*

(1) E. Bian, *loc. cit.* (*Congrès de Métallurgie tenu à Liège en* 1905).

Digitized by Google

43. Épurateur Theisen. — L'épurateur à tambour Theisen a été l'objet de nombreuses polémiques que l'on trouvera résumées avec beaucoup de soin dans le mémoire de M. de Mocomble (1). Il semble que M. Theisen se soit heurté pendant longtemps à des difficultés de construction qui ont fait penser que son appareil était incapable de donner des résultats satisfaisants. L'appareil semble d'ailleurs aujourd'hui se mieux comporter et réaliser les espérances de son inventeur; car, au Congrès de Métallurgie de Liège (2), M. A. Bailly, l'ingénieur de la Société Cockerill bien connu par ses travaux sur les moteurs à gaz de grande puissance, a soutenu cette opinion que le problème de l'épuration jusqu'à 0gr,02 par

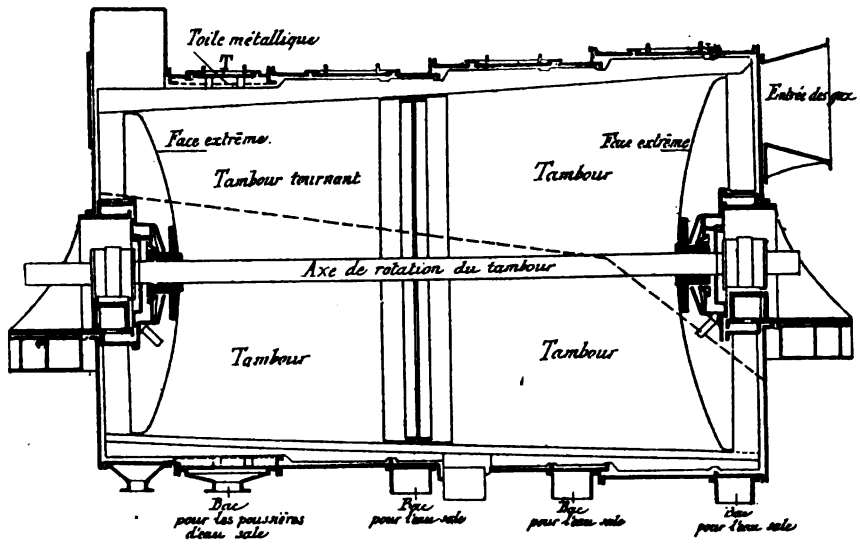


Fig. 117. — Coupe en long de l'épurateur Theisen.

mètre cube des gaz de hauts fourneaux n'a été résolu que par un seul appareil, qui est l'épurateur Theisen. « Aucun autre appareil, dit ce savant ingénieur, ne peut en une fois amener de 0gr,5 à 0gr,02 la teneur en poussière de plusieurs centaines de mètres cubes de gaz par minute. »

L'épurateur Theisen est représenté sur les figures 117 à 120.

Il se compose d'un tambour tournant autour d'un axe horizontal (*fig.* 117). Les paliers sont à billes, dans des boîtes refroidies par circulation d'eau. Les faces extrêmes du tambour sont creusées en cônes, de façon à réduire autant que possible la portée entre les deux paliers. L'appareil doit en effet tourner à la vitesse élevée de 40 mètres par seconde à la périphérie. Le tambour porte des ailettes très courtes presque normales à sa surface et disposées de façon à produire un vif mouvement de rotation du gaz, avec un léger déplacement de droite à gauche.

La coupe en long de la figure 117 montre le détail de la boîte dans laquelle tourne ce

(1) De Mocomble, *De l'utilisation des gaz de haut fourneau*, 2e partie (*Revue de Métallurgie*, mars 1905, p. 224 à 232). — M. de Mocomble cite les communications de M. Theisen au *Stahl und Eisen* en 1900, les critiques sévères de M. Lürmann au Congrès des Ingénieurs civils allemands, les opinions défavorables émises par M. Jules Deschamps et par M. Dutreux (*Génie civil*, 28 juin 1901), les communications de M. Theisen au *Stahl und Eisen* (1er avril 1902, 5 mars 1904). M. de Mocomble conclut de la manière suivante : « Il semble résulter que, après de longues et laborieuses études, M. Theisen est arrivé à obtenir des résultats de marche plus satisfaisants de son appareil, mais sans toutefois réaliser les rendements avantageux dont il parle dans sa dernière communication... La meilleure preuve que l'appareil ne doit pas pouvoir se suffire à lui-même se trouve dans ce fait que la Société du Creusot, qui construit ces appareils, a dû, dans son installation personnelle, adjoindre des chambres silésiennes et des pulvérisateurs Kœrting. »

(2) *Congrès de Métallurgie tenu à Liège en* 1905, séance du mardi 27 juin.

Digitized by Google

tambour. Cette boîte est divisée en quatre compartiments; les trois premiers épousent la forme du tambour en laissant un léger espace au delà des ailettes. A la partie inférieure de chacun de ces compartiments se trouve un bac, où l'eau sale vient se réunir et d'où les poussières peuvent être évacuées.

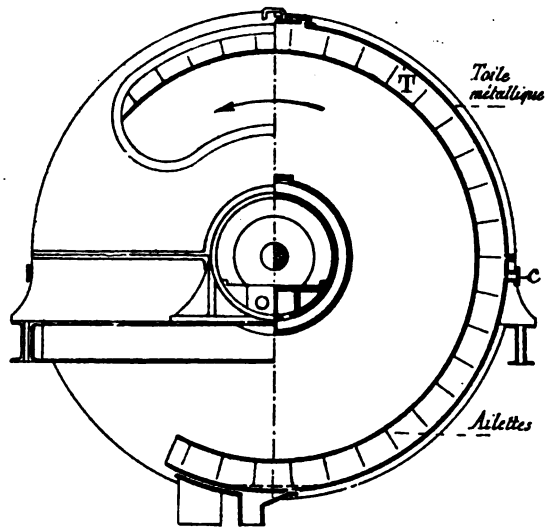


Fig. 118. — Épurateur Theisen. Entrée des gaz.

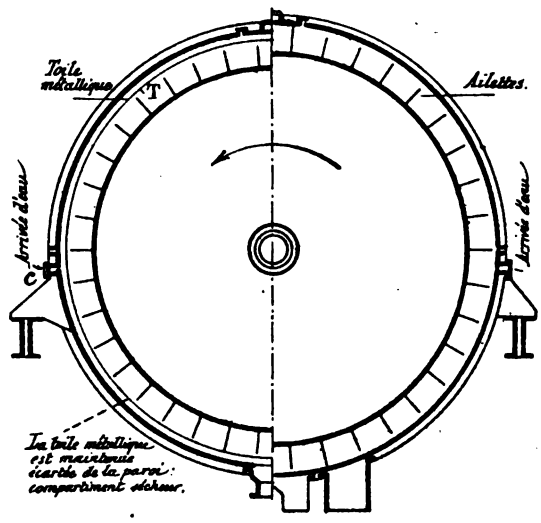


Fig. 119. — Épurateur Theisen. Coupe transversale.

La forme conique du tambour permet au sol de ces différents compartiments d'aller constamment en montant; il résulte immédiatement de là que, si un engorgement empêchait une vidange opportune, l'eau s'écoulerait naturellement de l'un des compartiments à l'autre et en sens contraire du mouvement des gaz.

La surface interne de la boîte dans laquelle tourne le tambour est recouverte d'une toile métallique qui est figurée en T sur les figures 117 à 119. Cette toile métallique se trouve ainsi tendue au-dessus des bacs où vient tomber l'eau sale et sert à empêcher le retour des impuretés.

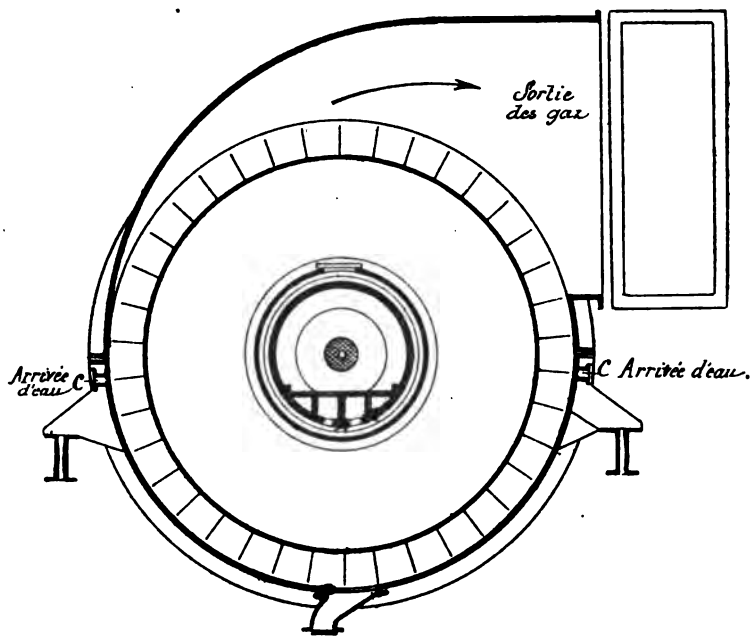


Fig. 120. — Épurateur Theisen. Sortie des gaz.

Le quatrième compartiment de la boîte dans laquelle tourne le tambour diffère des précédents en ce que la toile métallique est tenue écartée de la paroi de quelques centimètres par des cornières, comme on le voit sur les figures 117 et 119. Ce compartiment joue ainsi le rôle de sécheur, les poussières d'eau étant projetées au delà de la toile métallique qui les retient ainsi.

Digitized by Google

L'entrée des gaz se fait du côté de la base du tambour conique (*fig.* 117 et 118); ces gaz aspirés suivent alors jusqu'à l'autre extrémité un chemin en forme de spirale.

L'eau entre par des ouvertures multiples *c*. Elle suit dans l'appareil un mouvement inverse de celui des gaz.

Grâce à ce dispositif, le battage du gaz chargé de poussières avec de l'eau est bien réalisé. L'eau qui sort de l'appareil chargée de poussières est en contact avec le gaz sale qui entre ; ce gaz, en avançant le long du tambour tournant et en s'épurant de plus en plus, rencontre une eau de plus en plus propre ; finalement *le gaz propre qui sort de l'appareil ne peut entraîner à l'état de vapeur que l'eau propre avec laquelle il a été en contact en dernier lieu.* Comme le fait remarquer M. A. Bailly, *ce point est capital ; il y a de nombreux épurateurs dynamiques qui ont l'inconvénient d'entraîner de l'eau sale dans le gaz, parce que les deux courants de gaz et d'eau sont dans le même sens et non en sens inverse, comme dans l'appareil Theisen.*

L'épurateur Theisen absorbe une puissance motrice assez considérable, 1/2 à 2/3 de cheval effectif par mètre cube de gaz épuré par minute (1). La quantité d'eau nécessaire à l'épuration est assez faible, $1^{lit},5$ par mètre cube de gaz épuré. D'après cela, considérons un épurateur Theisen capable d'épurer 100 mètres cubes de gaz par minute. La puissance nécessaire sera de

$$100 \times \frac{1}{2} = 50 \text{ chevaux effectifs}$$

ou

$$100 \times \frac{2}{3} = 67 \text{ chevaux effectifs environ.}$$

L'appareil en question peut traiter par heure

$$100 \times 60 = 6000 \text{ mètres cubes de gaz}$$

et, par suite, alimenter un moteur à gaz de

$$\frac{6000}{4} = 1500 \text{ chevaux effectifs.}$$

La puissance absorbée par l'épuration varie donc

$$\text{de} \quad \frac{50}{1500} = 0{,}03 \quad \text{ou} \quad 3 \ 0/0$$

$$\text{à} \quad \frac{67}{1500} = 0{,}045 \quad \text{ou} \quad 4{,}5 \ 0/0$$

de la puissance produite par le moteur.

La quantité d'eau dépensée est, pour cet épurateur, de 9 à 10 mètres cubes à l'heure.

Mais une condition indispensable pour que l'appareil Theisen ait toute sa valeur pratique, c'est que *les gaz y pénètrent à une température qui ne soit jamais supérieure à* 30° *environ.*

(1) D'après Reinhardt, on construit des *Theisen* tournant à 300 et 450 tours par minute et qui sont capables de traiter de 100 à 500 mètres cubes de gaz par minute (6.000 à 30.000 mètres cubes à l'heure) en consommant de 50 à 250 chevaux ; ils nécessitent une consommation d'eau de $0^{lit},8$ à $1^{lit},5$ par mètre cube de gaz.

Digitized by Google

L'appareil de Theisen doit donc être toujours précédé d'un appareil de refroidissement des gaz. Comme l'a fait remarquer M. Greiner au Congrès de Métallurgie de Liège, c'est faute d'avoir tenu compte de cette condition que M. Theisen a eu tant de déboires avec son appareil. La pratique a en effet montré que, si on envoie les gaz sortant du fourneau dans l'appareil Theisen, les palettes de celui-ci se recouvrent au bout d'un temps très court d'une matière très dure semblable à de l'ardoise, qui ne tarde pas à rendre impossible le fonctionnement de l'appareil.

M. A. Bailly a obtenu de bons résultats en combinant l'appareil Theisen avec l'appareil Bian que nous avons décrit plus haut.

44. Ventilateur-épurateur ou ventilateur-laveur. — Au lieu d'envoyer les gaz refroidis dans un appareil centrifuge à tambour du type Theisen, on peut se servir *d'un ventilateur ordinaire dans lequel on injecte de l'eau par les ouïes* (1). Un tel ventilateur reçoit le nom de *ventilateur-épurateur* ou de *ventilateur-laveur*. Les gaz entrant au centre sont mélangés à l'eau qui est pulvérisée par les chocs des ailes en mouvement. Cette eau pulvérisée entoure chaque grain de poussière, augmente sa masse ; la force vive dont est animé ce grain humecté lors de son arrivée à la périphérie l'applique violemment contre la paroi où l'eau s'écoule en entraînant les poussières.

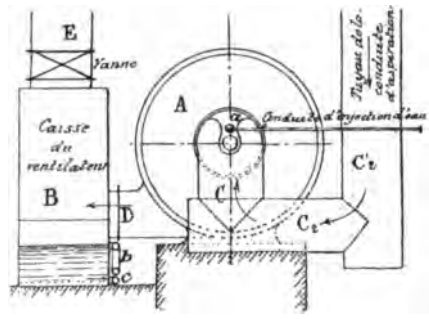


Fig. 121. — Ventilateur-épurateur.

45. Ventilateur-épurateur de Differdange. — La figure 121 représente un tel ventilateur à injection d'eau installé à Differdange par M. A. Bailly (2). A représente le corps du ventilateur ; B, une caisse en tôle avec trop-plein formant joint hydraulique dans laquelle sont refoulés les gaz à la sortie du ventilateur ; c'est dans cette caisse que vient s'écouler l'eau injectée dans le ventilateur ; C'_2C_2C représente l'entrée des gaz dans le ventilateur ; DE figure la sortie de ces gaz ; l'eau injectée arrive en *a* par deux tuyaux situés de chaque côté du ventilateur ; elle sort de la boîte B par *b* (trop-plein) et *c*, qui sert à vider la caisse pour le nettoyage, lequel a lieu tous les quinze jours environ. Cette eau est envoyée dans des bassins de décantation où elle dépose les poussières qu'elle tient en suspension.

L'emploi d'un seul ventilateur n'est pas toujours suffisant pour obtenir un gaz suffisamment épuré pour l'alimentation des moteurs. On installe alors un second ventilateur en série avec le premier. C'est ce qu'on a fait dans les premières expériences faites à Differdange, où l'on a constaté les résultats suivants.

TENEUR DES GAZ EN POUSSIÈRES

Avant le premier ventilateur.....	2gr,72	par mètre cube
Après le premier ventilateur.....	0 ,38	—
Après le deuxième ventilateur.....	0 ,08	—

(1) L'injection d'eau à l'intérieur d'un ventilateur a été indiquée par Rivot dès 1850 (*Annales des Mines*, 4e série, t. XVIII, p. 423), au cours de la description de l'usine à plomb de Pontgibaud, où ce mode de condensation des fumées plombeuses était employé depuis un certain temps. Une disposition un peu différente, mais fondée sur le même principe, a été brevetée le 10 février 1875 par MM. Huet, Geyler et Hervier.

(2) A. Dutreux, *Utilisation directe des gaz de hauts fourneaux dans les moteurs à explosion* (*Génie civil*, t. XXXIX, 29 juin 1901).

Digitized by Google

Aujourd'hui on peut obtenir un bien meilleur résultat en utilisant d'abord un épurateur-refroidisseur du type E. Bian et en envoyant le gaz destiné aux moteurs dans un ventilateur-laveur ou mieux dans deux ventilateurs-laveurs disposés en série.

46. Ventilateur-épurateur Lencauchez. — *M. Lencauchez* paraît être le premier à avoir introduit en France l'application des laveurs-ventilateurs. La première installation a été faite aux aciéries de Micheville au début de l'année 1901. La figure 122 représente un ventilateur-laveur du type Lencauchez (1). L'eau de lavage arrive au centre de l'élément et sort par le bas de l'enveloppe ou caisson, dans une cuvette à siphon pour joint hydraulique de sûreté. Le gaz arrive d'abord dans le premier élément, passe ensuite dans le second ; enfin, après ce second lavage, le gaz se rend dans la conduite générale de gaz épuré.

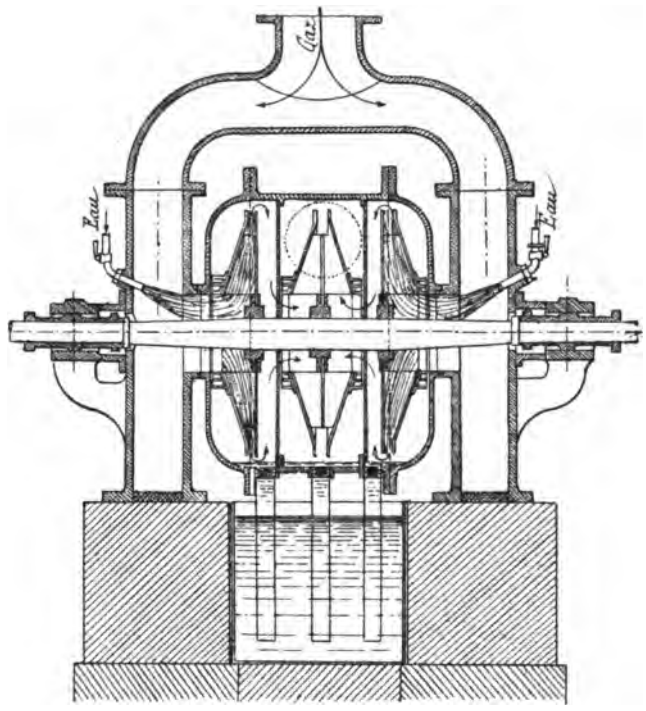


Fig. 122. — Ventilateur-épurateur, type Lencauchez.

Des ventilateurs de ce type, avec sécheur, ont été installés par *M. Lencauchez* aux usines de Neuves-Maisons. Le sécheur se compose d'un cadre renfermant cinq grilles dans un même châssis ; ce châssis coulisse dans deux glissières ; par une vis qui surmonte l'appareil, on fait plonger plus ou moins les grilles dans l'eau de la bâche à niveau constant et à péversoir. Plus on plonge le cadre (ou les grilles qu'il porte), plus la section des lames de gaz est réduite et plus la vitesse d'écoulement est grande. Or les chocs dans les creux des barreaux des grilles sont d'autant plus violents que cette vitesse d'écoulement des gaz est plus considérable. Par ce moyen on arrive à réduire dans une forte proportion la teneur du gaz en humidité.

Dans cette installation, les gaz sont épurés depuis la teneur de $3^{gr},3$ jusqu'à la teneur de $0^{gr},9$ par mètre cube. La consommation d'eau est de $1^{lit},2$ par mètre cube. La puissance dépensée pour épurer 19.000 mètres cubes de gaz en une heure est de 150 chevaux effectifs. Or ces 19.000 mètres cubes de gaz seraient capables de produire $\frac{19000}{4} = 4750$ chevaux effectifs. La puissance absorbée pour l'épuration est donc les 3 0/0 de la puissance disponible (2).

(1) Lencauchez, *Études sur divers gaz combustibles* (Paris, Bernard Tignol, 1902).

(2) Suivant *Dinnendahl*, la capacité horaire des ventilateurs va de 15.000 à 70.000 mètres cubes, et leur consommation de puissance se tient entre 40 et 110 chevaux ; la vitesse circonférentielle des aubes s'élève à 56 mètres par seconde. Ces appareils consomment de 1,5 à 2 litres d'eau par mètre cube pour réduire la teneur en poussières par mètre cube de 3 grammes à $0^{gr},2$, ou plus généralement de 1/10.

Digitized by Google

III

GAZ DES FOURS A COKE

1. Utilisation du coke métallurgique dans les hauts fourneaux. — Pendant de longues années, la houille a été le seul combustible employé dans les hauts fourneaux. Puis, au fur et à mesure que la hauteur du fourneau a augmenté, que l'allure est devenue plus rapide et le profil plus obtus, le coke, plus résistant, débarrassé de poussières et de menus, est venu remplacer le combustible primitif.

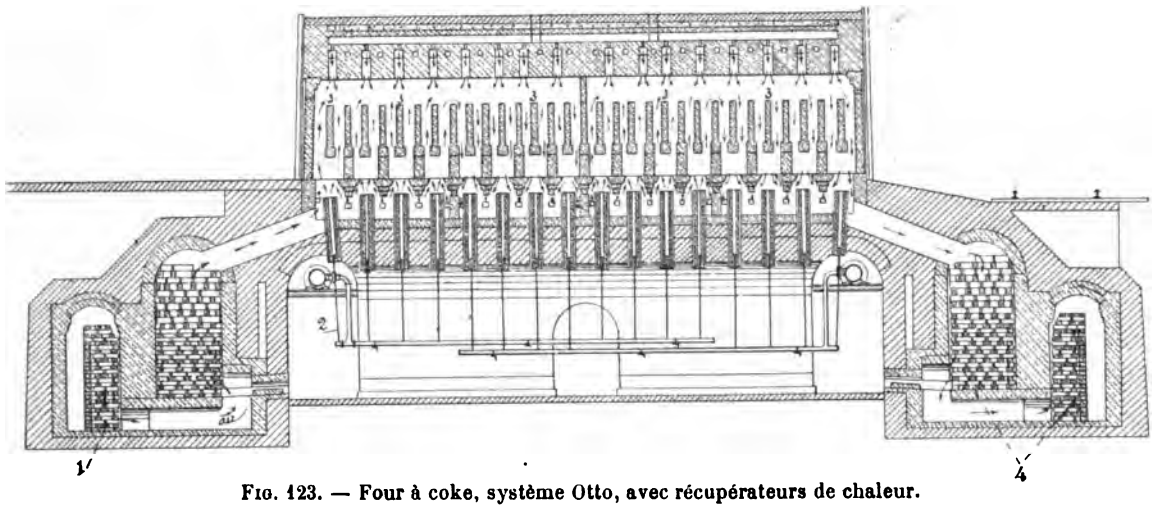


Fig. 123. — Four à coke, système Otto, avec récupérateurs de chaleur.

1, Récupérateur pour le chauffage de l'air; — 2, Brûleur à gaz de coke; — 3, Cornues à coke; — 4, Chambre de récupération chauffée par les gaz brûlés.

Il est actuellement adopté dans la presque totalité des usines métallurgiques et est appelé à être le seul en usage dans l'avenir.

Ce coke métallurgique est obtenu par la distillation en vase clos du charbon; sa fabrication est analogue à celle du gaz d'éclairage; le produit principal, au lieu d'être le gaz, est le coke [1].

Nous ne décrirons pas ici les types de fours à coke; nous renverrons pour cela aux traités spéciaux de sidérurgie. Il importe seulement de savoir que ces fours sont chauffés au moyen des gaz qui se dégagent.

[1] L'industrie métallurgique allemande n'importe plus aujourd'hui de l'étranger que des quantités insignifiantes de coke, malgré l'accroissement considérable de la consommation. La fabrication du coke métallurgique est principalement concentrée auprès des houillères de la Ruhr, de la Haute et de la Basse-Silésie; près d'Aix-la-Chapelle; et aussi en Saxe à Zwickau. Pour le bassin de la Ruhr, la production s'est accrue de 4.780.000 à 11.000.000 de tonnes depuis 1893 jusqu'en 1903; elle atteindra probablement 15.000.000 de tonnes en 1906, si on en juge d'après la statistique des six premiers mois de cette année. Le coke de la Ruhr est le plus coté pour sa dureté et sa composition chimique avantageuse. Dans la Haute-Silésie, la production a varié de 1.060 tonnes en 1890 à 1.241.000 tonnes en 1903, avec un maximum de 1.410.000 tonnes en 1900. Les bassins de la Sarre, de la Basse-Silésie, d'Aix-la-Chapelle sont beaucoup moins importants; celui d'Obernkirchen, en Prusse, a monté brusquement de 30.000 tonnes en 1902 à 78.000 tonnes en 1903. Au contraire, la production du bassin de Zwickau est en décroissance : 78.600 tonnes en 1894, 57.300 tonnes en 1902, 62.600 tonnes en 1903.

La production totale de l'Allemagne en coke métallurgique a passé de 7.099.000 tonnes en 1893 à 14.375.000 tonnes en 1903; elle sera probablement en 1906 de 20.000.000 de tonnes provenant de 27.000.000 de tonnes de charbon. A ce point de vue, l'Allemagne occupe le second rang après les États-Unis. En 1903, la production des divers pays peut en effet être ainsi répartie : États-Unis, 23 millions de tonnes; — Allemagne, 14 millions; — Angleterre, 10 millions; — Belgique et Russie, 2 millions; — France, 1.850.000 (d'après Oskar Simmersbach, *Stahl und Eisen*, 15 octobre 1904).

Digitized by Google

La figure 123 représente un tel four à coke avec récupérateurs de chaleur.

Mais toute la masse des gaz produits n'est pas nécessaire pour le chauffage. Il existe un excédent qu'il y a intérêt à utiliser.

2. Excédent de gaz produit dans la fabrication du coke métallurgique. — Le volume de cet excédent de gaz varie dans de larges limites suivant la nature du charbon employé pour la préparation du coke, suivant le mode de construction du four. Avec des charbons pauvres en gaz qui ne se transforment en coke qu'à une température élevée, la plus grande partie du gaz produit est utilisée pour le chauffage des parois des fours. On réalise d'ailleurs une première économie de gaz en chauffant par récupération l'air fourni pour la combustion, comme le montre l'appareil Otto représenté sur la figure 123. Dans ce four, les gaz brûlés élèvent la température de matières réfractaires contenues dans des chambres de récupération convenablement construites : ces gaz arrivent à la cheminée à une température d'environ 300°. En chauffant par cette méthode cet air à 700°, on obtient une dépense de gaz de 20 0/0 moindre qu'avec de l'air froid.

Certains charbons gras fournissent un coke de bonne qualité quand ils sont chauffés à des températures relativement basses. Si le four est construit dans de bonnes conditions, on peut compter sur un excédent de 20 à 40 0/0 de la production totale du gaz ; cet excédent peut être employé à d'autres usages. Avec les charbons d'une haute teneur en matières volatiles (charbons à gaz), on doit, pour obtenir un coke suffisamment dense, les porter à une température de 200° à 300° plus élevée que les charbons gras ordinaires ; cette élévation de température nécessite une plus grande dépense de gaz, de telle sorte que l'excédent de gaz disponibles n'est pas plus considérable qu'avec ces derniers. Une grande teneur en eau n'est pas favorable à la production du gaz, parce qu'une partie de la chaleur fournie aux fours est employée à la vaporisation de cette eau.

3. Quelques données sur le volume de l'excédent de gaz produit. — Ces conditions diverses du fonctionnement des fours à coke font que l'excédent de gaz disponible est très variable et d'ailleurs difficile à évaluer. Cependant voici quelques données empruntées au mémoire de *M. Baum* (*Die Verwertung des Koksofengases*).

NATURE DU CHARBON	VOLUME DE GAZ PRODUIT PAR TONNE DE CHARBON	EXCÉDENT DE GAZ en p. 100 de la PRODUCTION TOTALE	POUVOIR CALORIFIQUE INFÉRIEUR
	mètres cubes		grandes calories
Charbon de la Saar. Four à coke de Neunkirchen	»	12	4.335
Mine Ministre Stein	280	»	»
Fours à coke des usines Borsig, usine Julie en Haute-Silésie	280-435	25-40	3.070-4.050
Fours à coke du puits Thérèse près de Mährisch-Ostrau	280-450	20-40	2.000-3.170

4. Volume de gaz produit par tonne de charbon. — En considérant les pertes, il faut compter, d'après Baum, sur une production de 200 *mètres cubes de gaz par tonne de charbon traitée dans les usines moyennes ;* d'après *Schmidt* (*Stahl und Eisen*, 1901, p. 259), 1 *tonne de houille fournit en moyenne* 240 *mètres cubes de gaz de coke.*

Admettons le chiffre de 220 *mètres cubes de gaz utilisables par tonne de charbon traitée.*

Digitized by Google

Considérons une usine de moyenne importance ayant 80 fours, dans chacun desquels on traite 7 tonnes de charbon, la durée de la distillation étant d'environ trente-deux heures. Le volume total de gaz produit est

$$80 \times 7 \times 220 = 123200 \text{ mètres cubes.}$$

Le volume de gaz produit par heure pendant la distillation est donc

$$\frac{123200}{32} = 3850 \text{ mètres cubes.}$$

Si on compte une dépense de 70 0/0 pour le chauffage des fours, on voit qu'il faut brûler par heure

$$0{,}7 \times 3850 = 2695 \text{ mètres cubes.}$$

Il reste donc par heure un *excédent* de 1.155 mètres cubes ou encore 30 0/0, soit encore 66 *mètres cubes par tonne de charbon* (1).

5. Composition moyenne des gaz de fours à coke. — Les gaz obtenus dans les usines à coke ont naturellement une composition qui se rapproche de celle du gaz d'éclairage.

Leur composition moyenne est la suivante.

COMPOSITION MOYENNE DES GAZ DE FOURS A COKE

			Moyenne
Hydrogène.....	H	de 35 0/0 à 50 0/0	42 0/0
Méthane.....	CH^4	de 19 — à 27 —	22 —
Oxyde de carbone.....	CO	de 5 — à 12 —	8 —
Carbures lourds.....	C^mH^n	de 1 — à 4 —	3 —
Anhydride carbonique.....	CO^2	de 3 — à 6 —	4 —
Oxygène + Azote.....	O + Az	de 17 — à 32 —	21 —
			100 0/0

Ces données montrent que l'on se trouve en présence d'un gaz riche en *hydrogène*, en *méthane* et en *carbures lourds*. Son pouvoir calorifique est donc beaucoup plus élevé que celui du gaz de hauts fourneaux ; il sera voisin de celui du gaz d'éclairage. De plus, la proportion considérable des goudrons nécessite, comme nous le verrons, des appareils spéciaux d'épuration, si on veut employer ce gaz à l'alimentation des moteurs.

6. Pouvoir calorifique du gaz de fours à coke. — Le pouvoir calorifique inférieur de ce gaz varie de 3.000 à 4.000 grandes calories par mètre cube. Nous le prendrons égal en moyenne à 4.000 calories par mètre cube. Comme 1 mètre cube de ce gaz pèse en moyenne $0^{kg},450$, on peut compter que 1 kilogramme de gaz de four à coke dégage en brûlant 8.900 calories (vapeur d'eau non condensée).

7. Variation du pouvoir calorifique pendant la préparation du coke. — Le pouvoir calorifique varie d'ailleurs beaucoup pendant la durée de la préparation du coke. A ce point de vue, des expériences intéressantes ont été faites en 1899 à la mine *Mathias*

(1) D'après HOFFMANN [*Kraftgewinnung und Kraftverwertung in Berg und Hüttenwerken* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. L, n° 35)], on peut compter, avec les fours à récupérateurs de chaleur, sur un excédent de 100 à 110 mètres cubes environ par tonne de charbon employé.

Digitized by Google

Stinnes (1). La durée de la production du coke était de trente-deux heures. On pouvait la diviser en deux périodes.

La première période allait de la troisième à la vingt-troisième heure environ ; il se produisait un gaz riche dont la composition variait peu, la teneur en méthane passant de 40 0/0 à 35 0/0, celle en hydrogène passant de 35 0/0 à 45 0/0 ; le pouvoir calorifique variait de 15 0/0 environ.

La deuxième période allait de la vingt-troisième à la trente-deuxième heure ; elle était caractérisée par la production d'un gaz plus pauvre dont la composition variait très rapidement. La teneur en méthane diminuait très vite de 35 à 10 0/0 ; la teneur en hydrogène

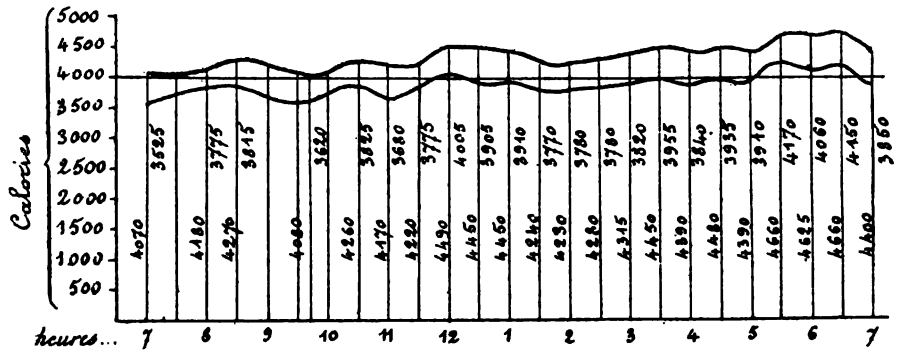


Fig. 124. — Variation du pouvoir calorifique du gaz de fours à coke.

croissait rapidement de 45 à 65 0/0 ; la teneur en carbures lourds (C^mH^n) qui, durant la première période, était voisine de 5 0/0, diminuait de 5 0/0 à 1 0/0 ; enfin la teneur en azote s'accroissait de 7 0/0 à 15 0/0. Quant au pouvoir calorifique, il diminuait dans cette période de 50 0/0 environ.

Aussi, aux usines à coke *Mathias Stinnes*, a-t-on soin d'employer *le gaz produit durant la première période à l'éclairage et à l'alimentation des moteurs à gaz ; quant au gaz produit durant la deuxième période, on l'utilise pour le chauffage des fours ;* il est en effet inutilisable pour l'éclairage à moins de le carburer.

On diminue les fortes variations du pouvoir calorifique en mélangeant dans une même conduite de décharge les gaz produits par différents fours à des périodes variables de la transformation du charbon en coke. Mais on n'arrive jamais à rendre petites les variations du pouvoir calorifique, comme le montre la figure 124, sur laquelle sont représentées les déterminations faites toutes les demi-heures pendant vingt-quatre heures sur le gaz résultant du mélange des produits de 60 fours Pœtter, chargés avec du charbon anglais de Dumpfield. Ces variations sont naturellement d'autant plus petites que le nombre des fours est plus grand. L'emploi d'un gazomètre a d'ailleurs pour effet d'atténuer ces variations du pouvoir calorifique et de la composition.

8. Utilisation à l'éclairage de l'excédent de gaz produit. — Nous venons de dire qu'à la mine *Mathias Stinnes* on employait une partie du gaz des fours à coke comme gaz d'éclairage. C'est la première application qui a été tentée dans les fours à coke pour l'utilisation de l'excédent de gaz produit.

Quelques usines ont tenté avec succès la carburation de cet excédent de gaz au moyen de vapeurs de benzol et l'emploi pour l'éclairage du gaz ainsi obtenu. C'est ainsi que les

(1) *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 1899, p. 241.

Digitized by Google

mines *Erin* et *Prosper* fournissent du gaz d'éclairage aux bourgs de *Castrop* et de *Bottrop;* que la mine *Glückhilf-Friedenshoffnung en Basse-Silésie* éclaire *Hermsdorf*. A Boston (États-Unis), une usine à gaz d'éclairage fonctionne avec 400 fours à coke, chargés avec du charbon de la *Dominion Coal C°* de Cap-Breton.

L'utilisation du gaz des fours à coke pour l'éclairage était encore, il y a quelques années, limitée par ce fait qu'il n'y avait pas toujours, autour des fours à coke, d'agglomérations importantes à éclairer. Mais cette difficulté a disparu aujourd'hui où l'on transporte à distance du gaz comprimé. Les progrès dans la construction des becs à incandescence et des fourneaux à gaz ont aussi contribué à l'extension de l'emploi des gaz de fours à coke. On n'a plus en effet besoin de carburer le gaz au moyen de vapeurs de benzol jusqu'à lui donner un pouvoir calorifique de 5.000 calories. Il résulte de là une économie notable, le benzol étant d'un prix assez élevé.

9. Utilisation de l'excédent de gaz sous des chaudières. — On a songé à *brûler l'excédent de gaz sous des chaudières afin de produire de la vapeur destinée à alimenter des machines.* On peut facilement calculer, comme nous l'avons fait plus haut, le nombre de mètres cubes de gaz qu'il faut brûler pour produire un cheval-heure effectif. Comme le gaz produit par les fours ne contient pas de poussières, on peut prendre égal à 50 0/0 le rendement en vapeur de la chaudière. Le poids de la vapeur à 4 ou 5 kilogrammes de pression que peut produire la combustion de 1 mètre cube de gaz est alors donné par la relation

$$\frac{x \times 607{,}528}{0{,}45 \times 4000} = 0{,}50,$$
$$x = 1^{kg}{,}48.$$

Il faut donc brûler au foyer $\frac{1}{1{,}48} = 0^{m3}{,}675$ de gaz à 4.000 calories pour produire 1 kilogramme de vapeur à 4 ou 5 kilogrammes de pression. Si on compte qu'il faut dépenser 10 kilogrammes de vapeur pour produire un cheval-heure effectif, on voit que, pour produire un cheval-heure effectif, il faut brûler sous la chaudière

$$0{,}675 \times 10 = 6^{m3}{,}75 \text{ de gaz de four à coke.}$$

Le *rendement thermique total de la chaudière, des conduites et de la machine* est

$$\frac{75 \times 3600}{6{,}75 \times 4000 \times 424} = 2{,}3\ 0/0.$$

En prenant comme rendement en vapeur de la chaudière le nombre 60 0/0 que M. Witz admet pour les meilleurs combustibles et pour les installations bien surveillées, on trouverait que 1 mètre cube de gaz de four à coke produit $1^{kg}{,}78$ de vapeur ou qu'il faut brûler $0^{m3}{,}56$ de gaz pour produire 1 kilogramme de vapeur. Cette dépense de gaz correspond à une comsommation de $5^{m3}{,}6$ de gaz par cheval-heure effectif et à un rendement thermique total de 2,76 0/0.

Dans l'exemple choisi plus haut d'une usine à coke ayant 80 fours de 7 tonnes, l'excédent de gaz, 1.155 mètres cubes, permet de produire au moyen de machines à vapeur

$$\frac{1155}{6{,}75} = 171 \text{ chevaux-heures effectifs}$$

Digitized by Google

si l'on admet 50 0/0 pour le rendement en vapeur de la chaudière, et

$$\frac{1155}{5,60} = 206 \text{ chevaux-heures effectifs,}$$

si l'on admet 60 0/0 pour le rendement en vapeur de la chaudière.

10. Utilisation de l'excédent de gaz dans les moteurs à gaz. — Supposons qu'au lieu de brûler d'abord le gaz sous les chaudières on s'en serve pour *alimenter des moteurs à gaz.*

Il faut compter une dépense de 700 à 900 litres de gaz, ou en moyenne une dépense de 800 litres pour produire un cheval-heure effectif avec du gaz de four à coke. Le *rendement thermique total de l'installation* est alors

$$\frac{75 \times 3600}{0,8 \times 4000 \times 424} = 19,9\ 0/0.$$

En alimentant directement les moteurs à gaz avec du gaz de four à coke, l'installation des 80 fours dont nous avons parlé plus haut donne une puissance disponible de

$$\frac{1155}{0,8} = 1.443 \text{ chevaux-heures effectifs.}$$

On voit tout l'avantage que l'on peut retirer de l'utilisation des gaz de fours à coke dans les moteurs à gaz.

11. Développement en Allemagne de l'utilisation du gaz de coke dans les moteurs à gaz. — Aussi, en Allemagne, où la fabrication du coke métallurgique est très développée, utilise-t-on dans des moteurs l'excédent des gaz produits.

Les plus anciens moteurs à gaz alimentés avec du gaz de four à coke semblent être ceux des usines *Altenwald*, dans le district de la *Saar* (12 chevaux), et ceux des usines *Skalley*, *en Haute-Silésie* (60 chevaux); ces moteurs sont en fonctionnement depuis une dizaine d'années environ. Dans la région de la Ruhr, aux mines *Dannenbaum*, *Mansfeld*, *Lothringen*, fonctionnent depuis quelques années toute une série de petits moteurs qui servent dans la fabrication des sous-produits.

Les installations d'une certaine importance ont toutes été faites dans ces dernières années. Dans le district de la *Saar* fonctionne depuis 1901 un moteur de 200 chevaux installé par la *Société d'Augsbourg-Nüremberg* aux usines à coke de *Neunkirchen*. En Westphalie, c'est à la mine *Mathias Stinnes* que l'on a essayé pour la première fois d'utiliser les gaz de fours à coke dans les grands moteurs à gaz. La firme *F. Krupp* (usines de Gruson) y installa, en 1901, 3 machines de 300 chevaux chacune; mais, jusqu'en 1904, ces machines n'ont pu fonctionner régulièrement à cause de l'insuffisance de l'excédent de gaz produit. En 1901, la Compagnie des mines de *Gelsenkirchen* (Gelsenkirchener-Bergwerks-Aktiengesellschaft) a fait pendant un an des expériences à la mine *Ministre-Stein* sur un moteur de Deutz de 125 chevaux. Récemment la mine *Lothringen* a remplacé ses petits moteurs (8 à 50 chevaux) par un moteur de 350 chevaux.

En 1903, de nombreux moteurs à gaz alimentés par du gaz de fours à coke ont été installés dans le district de la Ruhr. Voici, d'après Baum, des indications sur quelques-unes de ces installations.

Digitized by Google

TABLEAU XXI

MOTEURS A GAZ ALIMENTÉS AVEC DU GAZ DE FOURS A COKE (DISTRICT DE LA RUHR)

NOM DE LA MINE	TYPE	CONSTRUCTEUR	NOMBRE	PUISSANCE de chaque moteur	PUISSANCE totale de l'installation
				chevaux	chevaux
Ministre-Stein	Œchelhäuser	Construction de machines d'Aschersleben	1	500	1.000
	Augsbourg-Nüremberg	Augsbourg-Nüremberg	1	500	
Consolidation	id.	id.	2	650	1.300
Anna, Kölner Bergwerksverein	Œchelhäuser	Fabrique d'Aschersleben	1		
Roi-Louis	Augsbourg-Nüremberg	Friedrich-Wilhelmshütte, Mülheim sur la Ruhr	1	550	550
			1	550	550
Lothringen	id.	id.	1	350	350
Comte-Moltke	Körting	Usine Körting, Hanovre	1	475	475
Shamrock III/IV	Augsbourg-Nüremberg	Fabrique Haniel et Lueg	1	800	800
Ministre-Achenbach	Deutz	Gasmotoren Fabrik Deutz	1	250	250
		TOTAL	10		5.275

En 1904, 4 grands moteurs, du type Augsbourg-Nüremberg, ayant ensemble une puissance de 3.200 chevaux, ont été installés à la fosse *Anna* de l'*Union des mines d'Eschweiler* dans le district d'*Aix-la-Chapelle*.

Dans la *Haute-Silésie* existent deux grandes installations de moteurs alimentés par des gaz de fours à coke. L'une de ces installations, faite à l'usine *Julie* (Julienhütte), près de Beuthen, comprend 4 moteurs *Körting* de 300 chevaux chacun; l'autre installation, qui est celle des usines *Borsig*, possède un moteur *Œchelhäuser* de 500 chevaux, fourni par la firme Borsig, de Berlin-Tegel.

En Autriche, le district d'*Ostrau-Karwin* dispose de plusieurs installations de moteurs alimentés avec du gaz de four à coke. La plus grande existe à la fosse *Thérèse*, près de *Mährisch-Ostrau;* elle comprend 3 moteurs de chacun 300 chevaux, fournis par l'usine de construction de moteurs de Berlin-Anhalt. Les aciéries de *Witkowitz*, auxquelles appartient la fosse Thérèse, ont deux moteurs Deutz de 600 chevaux. A la fosse *Caroline*, voisine de ces aciéries, est installé un moteur à gaz de coke de 200 chevaux, du type *Delamare-Deboutteville;* il a été fourni par l'usine de construction de machines Breitfeld, Danek et Cie, de Prague; cette machine actionne la centrale électrique. A la fosse *Jean*, à Karwin, un moteur de 600 chevaux du type *Reichenbach*, construit par l'usine de moteurs de Berlin-Marienfeld, actionne également une centrale électrique.

Le tableau XXII donne, d'après *Baum*, quelques détails sur les modes d'installation de ces machines.

Les tableaux XXIII et XXIV, plus complets, donnent, d'après *Hoffmann*, le dénombrement et le mode d'exploitation des moteurs alimentés par du gaz de hauts fourneaux et du gaz de fours à coke, qui sont actuellement installés dans les usines allemandes.

Digitized by Google

TABLEAU XXII

SUR QUELQUES INSTALLATIONS DE MOTEURS AU GAZ DE FOURS A COKE

USINES DANS LESQUELLES les moteurs sont installés	TYPE	MODE de FONCTIONNEMENT	PUISSANCE — CYLINDRE — Diamètre	PUISSANCE — CYLINDRE — Course	PUISSANCE — NOMBRE de tours par minute	PUISSANCE — PUISSANCE	NOMBRE DE MOTEURS	PUISSANCE TOTALE	ANNÉE DE LA MISE EN MARCHE	LES MOTEURS ACTIONNENT	OBSERVATIONS
			mm.	mm.		chev.		chev.			
Les frères Stumm à Neunkirchen.....	Nüremberg-Otto	à 4 temps et à simple effet	700	850	120	200	1	200	1901	Une soufflerie de haut fourneau.	
Ministre-Stein.....	Deutz	id.	»	»	»	125	1	125	1902	Les machines d'une fabrique de sous-produits.	
Usines à coke du Sleswig-Holstein..	Deutz	à 4 temps et à double effet	»	»	180	225	3	675	1902	Par l'intermédiaire d'une transmission électrique, les machines de l'usine à coke, des laveurs, des monte-charges de la fabrique des sous-produits.	2 moteurs en fonctionnement; 1 moteur en réserve.
Usine Julie	Körting	id.	620	800	140	300	4	1.200	»	Par l'intermédiaire d'une transmission électrique, les machines de l'usine à coke, de la condensation et quelques machines de l'usine.	3 moteurs en fonctionnement; 1 en réserve.
Usine Borsig.....	Œchelhäuser	à 2 temps	675	950	109	740	1	740	»	Une soufflante de haut fourneau pour 400 mètres cubes d'air par minute.	
Fosse Thérèse.....	Construction de machines de Berlin-Anhalt	Moteur à 4 temps jumelé	670	750	150	300	3	900	1901	Par transmission électrique, les machines de l'usine à coke et de la condensation; produisent en outre du courant pour la mine.	2 moteurs en fonctionnement; 1 moteur et 1 machine à vapeur en réserve.
Puits Caroline.....	Delamare-Deboutteville (Cockerill)	id.	630	900	128	200	1	200	»	Alternateur.	
Puits Johannes (Jean).	Reichenbach	Moteur à 4 temps à 4 cylindres	»	»	»	720	1	720	1901		

Digitized by Google

TABLEAU XXIII

MOTEURS A GAZ DE FOURS A COKE DANS LES MINES ET LES USINES DE L'ALLEMAGNE (MAI 1906)

[D'après Dr H. Hoffmann, *Kraftgewinnung und Kraftverwertung in Berg- und Hüttenwerken* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. L, n° 39)]

USINES DANS LESQUELLES LES MOTEURS SONT INSTALLÉS	A QUATRE TEMPS ET A SIMPLE EFFET				A DEUX TEMPS		A QUATRE TEMPS ET A DOUBLE EFFET							PUISSANCE TOTALE
	COCKERILL	DEUTZ	NÜRNBERG	DIVERSES FIRMES	GEBEL HÄUSER	KÖRTING	NÜRNBERG	DEUTZ	EHRHARDT ET SEHMER	ELSÄSSISCHE MASCH.-GESELLS.	MÄRKISCHE MASCH.-AKT. GESELLS.	THYSSEN UND Cie	GUTE-HOFFNUNGSHÜTTE	
	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. effect.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. eff.	chev. effect.
Eschweiler Bergwerksverein A.-G., Alsdorf (Province Rhénane)	»	»	»	»	»	»	9.400	»	»	»	»	»	»	9.400
Steinkohlenbergwerk Rheinpreuszen, Homberg-sur-le-Rhin	»	»	»	»	1.500	»	3.000	»	»	»	»	»	1.500	6.000
Königlische Berginspektion VII, Heinitz	»	»	»	»	»	»	»	»	5.500	»	»	»	»	5.500
Mine Prinzregent, Weitmar près de Bochum	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4.000	»	4.000
Les frères Stumm, Neunkirchen	»	»	200	»	»	»	2.000	»	»	»	»	»	»	2.200
Gewerkschaft Constantin der Grosse, Bochum	»	»	»	»	»	»	1.200	600	»	»	»	»	»	1.800
Bergwerks-A.-G. Consolidation, Gelsenkirchen	»	»	»	»	»	»	1.520	»	»	»	»	»	»	1.520
Mine Vondern de la Gutehoffnungshütte	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1.500	1.500
Mine Ministre-Achenbach (les frères Stumm), Brambauer (Westphalie)	»	»	»	»	»	»	1.000	250	»	»	»	»	»	1.250
Gelsenkirchener Bergwerks-A.-G., Gelsenkirchen	»	125	»	»	500	»	500	»	»	»	»	»	»	1.125
Installations diverses :														
Burbacher Hütte (Burbach), Julienhütte (Haute-Silésie), Mine Hannibal, Borsigwerk, König Ludwig, Kölner Bergwerksverein, Essener Bergwerksverein	»	675	»	3.200	1.000	500	3.400	»	»	1.000 Mine Hannibal	»	»	»	9.775
TOTAUX	»	800	200	3.200	3.000	500	22.020	850	5.500	1.000	»	4.000	3.000	44.070
	4.200				3.500		36.370							

Digitized by Google

TABLEAU XXIV

MOTEURS A GAZ DE HAUTS FOURNEAUX ET A GAZ DE FOURS A COKE INSTALLÉS EN ALLEMAGNE DANS LES MINES ET LES USINES (MAI 1906)

[D'après Dr H. Hoffmann, *Kraftgewinnung und Kraftverwertung in Berg- und Hüttenwerken* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. L, n° 39)]

TYPE de la MACHINE	USINES QUI ONT CONSTRUIT LES MACHINES	MOTEURS A GAZ DE HAUTS FOURNEAUX COMMANDANT DES SOUFFLERIES (1)		DYNAMOS		TRAINS DE LAMINOIRS		MOTEURS A GAZ DE FOURS A COKE (2)		TOTAL	
		NOMBRE	PUISSANCE	NOMBRE	PUISSANCE	NOMBRE	PUISSANCE	NOMBRE	PUISSANCE	NOMBRE	PUISSANCE
			chev. effect.		chev. effect.		ch. effect.		ch. effect.		ch. effect.
A 4 temps et à simple effet	Construction Cockerill : Cockerill, à Seraing; Elsässische Maschinenbau-Gesells.; Märkische Maschinenbau A.-G.	12	8.800(3)	7	4.000	»	»	»	»	19	12.800
	Gasmotorenfabrik Deutz	1	1.000	26	13.250	»	»	4	800	31	15.050
	Nüremberg	»	»	8	6.800	»	»	1	200	9	7.000
	Diverses firmes	»	»	4	2.400	»	»	10	3.200	14	5.600
Œchelhäuser 2 temps	Ascherslebener Maschinenbau A.-G.	2	3.500	8	8.500	1	1.000	2	1.000	13	14.000
	A. Borsig, Berlin-Tegel	2	1.000	5	5.600	»	»	2	2.000	9	8.600
	Berlin-Anhaltische Maschinenbau A.-G.	»	»	3	1.800	»	»	»	»	3	1.800
Körting 2 temps	Maschinenbau A.-G., auparavant Gebr. Klein, Dahlbruch	14	15.250	7	4.850	2	3.600	»	»	23	23.700
	Siegener Maschinenbau A.-G., auparavant A. et H. Œchelhäuser	22	20.000(4)	»	»	»	»	»	»	22	20.000
	Gutehoffnungshütte, Donnersmarckhütte, Körting	6	6.000	10	9.150	»	»	1	500	17	15.650
A 4 temps et à double effet	Construction Nüremberg : Maschinenbau-Gesellschaft, Nürnberg; Hanieletlueg, à Düsseldorf; Friedrich Wilhelmshütte, à Mülheim-Ruhr	29	43.000(5)	58	84.150	2	2.300	22	22.020	111	151.470
	Deutz	»	»	13	11.100	»	»	2	850	15	11.950
	Ehrhardt et Schmer, Saarbrück	8	9.050	9	12.000	»	»	5	5.500	22	26.550
	Elsässische Maschinenbau-Gesellschaft, Mülhausen (Alsace)	10(6)	13.700	3	3.700	»	»	2	1.000	15	18.400
	Construction Cockerill : Märkische Maschinenbau A.-G. (M); Cockerill, Seraing (C)	M 2 C 2	1.850 2.400	M 1	1.700	M 3	4.000	»	»	8	9.950
	Thyssen und Cº, Mülheim-Ruhr	10	18.000	11	19.600	»	»	2	4.000	23	41.600
	Diverses : Krupp (K); Schüchtermann et Kremer (S et K); Gutehoffnungshütte (G)	»	»	S et K 4 G 1	3.600 600	K 3	5.600	G 2	3.000	10	12.800
	TOTAL	120	143.550	178	192.800	11	16.500	55	44.070	364	396.920

NOTA. — (1) Les machines soufflantes sont en général fournies par les firmes qui fabriquent les moteurs à gaz.

(2) A l'exception de quelques petites machines soufflantes et ventilateurs, les moteurs à gaz de coke sont employés pour la commande des dynamos; en dehors des moteurs indiqués dans ce tableau, il existe encore un certain nombre de moteurs à gaz de coke d'une puissance inférieure à 100 chevaux.

(3) Y compris une commande de pompe de 100 chevaux.

(4) Il y a en outre : une machine soufflante pour aciérie de 1.500 chevaux, et une commande de pompe de 200 chevaux.

(5) En outre : deux machines soufflantes pour aciérie, d'une puissance totale de 4.000 chevaux.

(6) Les anciens types de construction étaient du type de Cockerill; les nouveaux moteurs sont d'une construction propre à l'usine même.

Digitized by Google

12. Utilisation des gaz produits dans les fours à fondre le cuivre. — Avant de montrer quelles précautions on doit prendre pour l'épuration du gaz de fours à coke destiné à l'alimentation des moteurs, signalons la tendance actuelle de l'industrie métallurgique qui s'efforce d'utiliser les gaz produits dans les fours à fondre le cuivre.

D'après M. Scharenberg (1), l'installation de la *Krughütte* de la *Société Mansfeld* à *Eisleben* pour le traitement des *minerais cuprifères* serait la première installation de moteurs à gaz faite dans une usine métallurgique autre que le fer.

Dans cette usine fonctionnent 5 fours à fondre le cuivre dont les gaz résiduaires, par une conduite de 2 mètres carrés de section, sont conduits à une série de chaudières comprenant 10 chaudières en marche et 3 en réserve; la vapeur produite par ces chaudières fournit, en tant que souffleries, pompes, presses, machines d'éclairage, 200 à 250 chevaux. Pour l'installation du moteur à gaz, on a établi une conduite de 800 millimètres de diamètre et 300 mètres de longueur. Le gaz est aspiré par 3 ventilateurs; il est refroidi en chemin jusqu'à la température ambiante; il est envoyé dans des scrubbers à coke et des filtres à sciure. De là, en passant par un gazomètre de 8 mètres cubes de capacité, il est envoyé aux deux moteurs à gaz d'une puissance de 110 chevaux qui actionnent par courroie une dynamo de 80 kilowatts. Les ventilateurs sont actionnés par l'intermédiaire d'une transmission commandée par un moteur à gaz de 10 chevaux; le même arbre actionne une pompe à air qui fournit aux grands moteurs l'air comprimé nécessaire à leur mise en marche. Le petit moteur est à essence, en attendant le moment où le volume de gaz produit sera suffisant pour l'alimenter.

A la mise en marche de l'installation, on a été obligé, pour éliminer les poussières, d'installer des injecteurs dans les conduites des ventilateurs.

Cette installation fonctionne avec succès depuis 1901.

13. Difficultés que présente l'épuration des gaz de fours à coke. — Comme pour le gaz des hauts fourneaux, l'utilisation des gaz de fours à coke dans les moteurs n'est possible qu'à la condition de réaliser *une épuration suffisamment complète de ces gaz*. Or une telle épuration présente ici des difficultés particulières à cause de la présence des *goudrons*, des *composés ammoniacaux cyanés et sulfurés*, qui existent dans les gaz produits par des houilles très riches en matières volatiles. Nous avons déjà eu l'occasion d'étudier les procédés mis en œuvre par M. Lencauchez et par M. Mond pour débarrasser de ces sous-produits, par une épuration rationnelle, les gaz fournis par des gazogènes utilisant des combustibles à grande teneur en matières volatiles. Mais le problème est ici rendu plus complexe par le grand volume de gaz produit.

Nous allons exposer, d'après le travail de *M. Baum*, auquel nous avons fait de nombreux emprunts, les méthodes d'épuration employées actuellement en Allemagne dans les usines à coke métallurgique pour obtenir un gaz susceptible d'alimenter des moteurs.

14. Principe de l'épuration des gaz de fours à coke. — Le gaz sortant des fours à coke passe d'abord dans des refroidisseurs à air et à eau qui, en réalisant un refroidissement graduel, provoquent la séparation de la plus grande partie des matières condensables (goudrons et composés ammoniacaux). Pour réaliser une séparation plus complète des goudrons, on emploie des épurateurs secs, tels que le séparateur de *Pelouze et Audouin*, ou des filtres à sciure. Les composés du soufre et du cyanogène mélangés aux gaz sont

(1) SCHARENBERG, *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 7 juin 1902.

Digitized by Google

arrêtés en réalisant des combinaisons chimiques avec de l'oxyde de fer ou des solutions de sels de fer. La présence des vapeurs de naphtaline a pour résultat de rendre l'épuration plus déiicate, d'un côté par les obturations que ce corps séparé à l'état solide produit dans les conduites, et de l'autre par les dépôts formés sur les surfaces refroidissantes, dépôts qui diminuent leur action.

Nous allons passer en revue les divers appareils qui ont été proposés pour réaliser ces diverses opérations.

15. Refroidissement des gaz à la suite des fours. — Comme pour les gaz de hauts fourneaux, l'épuration des gaz de fours à coke ne peut être réalisée d'une manière convenable qu'à la condition de refroidir ces gaz immédiatement après leur sortie des fours. Ce refroidissement doit d'ailleurs être graduel, afin d'éviter les accumulations de naphtaline susceptibles d'arrêter le fonctionnement des appareils.

16. Refroidisseurs à circulation d'air. — Au sortir des fours, le gaz passe dans des refroidisseurs à circulation d'air qui abaissent sa température de 280° à 100° ou 70° et provoquent le dépôt de la majeure partie du goudron.

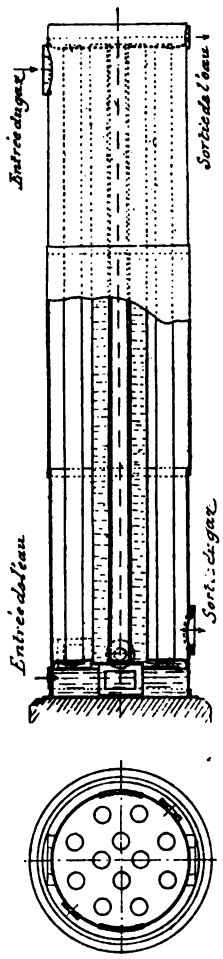


Fig. 125. — Réfrigérant à courant d'eau.

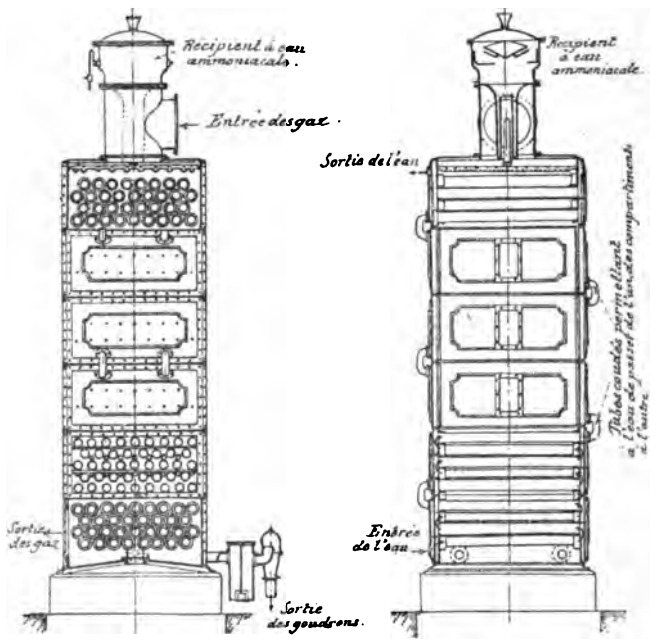


Fig. 126. — Appareil Reutter.

Le plus simple de ces refroidisseurs d'air est obtenu en faisant passer le gaz dans un espace annulaire compris entre deux cylindres concentriques placés à l'intérieur l'un de l'autre. L'air baigne la surface extérieure du cylindre extérieur et la surface intérieure du cylindre intérieur. L'air, en s'échauffant, s'élève de bas en haut; le courant de gaz est généralement inverse; les gaz descendant dans l'espace annulaire rencontrent de l'air de plus en plus froid. Une porte de décrassage placée à la base permet l'enlèvement des goudrons et des poussières de charbon. Ces réfrigérants annulaires présentent, dans certaines usines,

Digitized by Google

jusqu'à 100 mètres carrés de surface de refroidissement; dans ces dimensions, ils coûtent de 28 à 30 francs le mètre carré de surface refroidissante.

Un grand nombre d'usines à coke utilisent comme refroidisseur aérien un jeu d'orgues analogue à celui des usines à gaz. Un tel appareil coûte de 30 à 32 francs le mètre carré de surface refroidissante.

Le gaz sortant de ces appareils (réfrigérant annulaire, jeu d'orgue) est refroidi plus complètement dans des cylindres en tôle disposés en série, ayant 7 à 8 mètres de hauteur et un diamètre de $1^m,50$ à 2 mètres.

17. Refroidisseurs à courant d'eau. — En sortant de ces séparateurs de goudrons, les gaz traversent trois à cinq refroidisseurs à courant d'eau disposés en série; la température des gaz, qui était de 100 à 70° C., s'abaisse jusqu'à 40 ou 25° C.; dans les installations bien faites, la teneur en goudron s'abaisse jusqu'à 25 0/0 de la teneur primitive.

La figure 125 représente l'un de ces refroidisseurs à courant d'eau, dans lequel le gaz circule autour de tuyaux dans lesquels on fait passer de l'eau; les deux courants d'eau et de gaz sont en sens opposés. A la base de la boîte de circulation des gaz se trouvent deux portes de décrassage pour l'enlèvement des goudrons. Dans ces appareils, on compte une surface réfrigérante de 1 mètre carré à $1^{m2},6$ pour chaque volume de 100 mètres cubes de gaz produits en vingt-quatre heures.

L'appareil *Reutter* (*fig.* 126) appartient à ce type de réfrigérants à tubes d'eau; il est formé d'une série de boîtes quadrangulaires dans lesquelles on a multiplié les tubes de circulation d'eau. Cet appareil se distingue du précédent en ce que les produits goudronneux déposés sur les tubes d'eau sont enlevés par une pluie d'eau ammoniacale qui tombe sur eux d'un réservoir situé à la partie supérieure de l'appareil, au-dessus de l'arrivée des gaz.

18. Réfrigérant intensif Zschocke. — Pour pousser plus loin le refroidissement du gaz qui sort des réfrigérants à tubes d'eau à une température de 20 à 25° C., on emploie dans un grand nombre d'usines à coke de la Ruhr le *réfrigérant à gaz intensif* (*Intensiv-Gaskühler*) de la firme *Zschocke à Kaiserslautern*. Cet appareil se compose essentiellement d'une série de serpentins sur la surface extérieure desquels on fait ruisseler de l'eau : les gaz circulent à l'intérieur de ces serpentins, dont les brides portent des parties amovibles afin de faciliter le nettoyage. Le réfrigérant de la mine Holland (*fig.* 127), qui refroidit 150.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures, a une surface réfrigérante de 300 mètres carrés; suivant la température de l'eau de ruissellement, le gaz qui entre à 36° ou 40° C. en sort à 14 ou 16° C. : en été, la différence des températures de l'eau de ruissellement à son arrivée et à son départ ne dépasse jamais 2° C. De tels réfrigérants Zschocke sout installés dans la plupart des usines à coke du groupement rhénan-westphalien; la mine *Deutscher Kaiser* possède un appareil capable de refroidir en vingt-quatre heures 400.000 mètres cubes de gaz.

19. Séparateurs de goudrons. — A la suite de ces appareils refroidisseurs se trouvent les séparateurs de goudrons.

Certains de ces séparateurs sont simplement constitués par des cylindres en tôle creux ayant une hauteur de 7 à 8 mètres et un diamètre de $1^m,50$. L'intérieur de ces caisses est garni de cloisons dirigées tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, de manière à provoquer des changements brusques dans la direction des courants gazeux. Le gaz serpente entre ces cloisons et abandonne les goudrons par ses chocs contre les cloisons.

Digitized by Google

20. Séparateur de goudrons Pelouze-Audouin. — Le principe du séparateur de Pelouze et Audouin est représenté sur la figure 128. Le gaz, après avoir traversé une sorte de tamis, se trouve arrêté brusquement par une paroi contre laquelle il rebondit pour se partager en courants partiels, comme l'indique la figure 128. Si on dispose plusieurs de ces

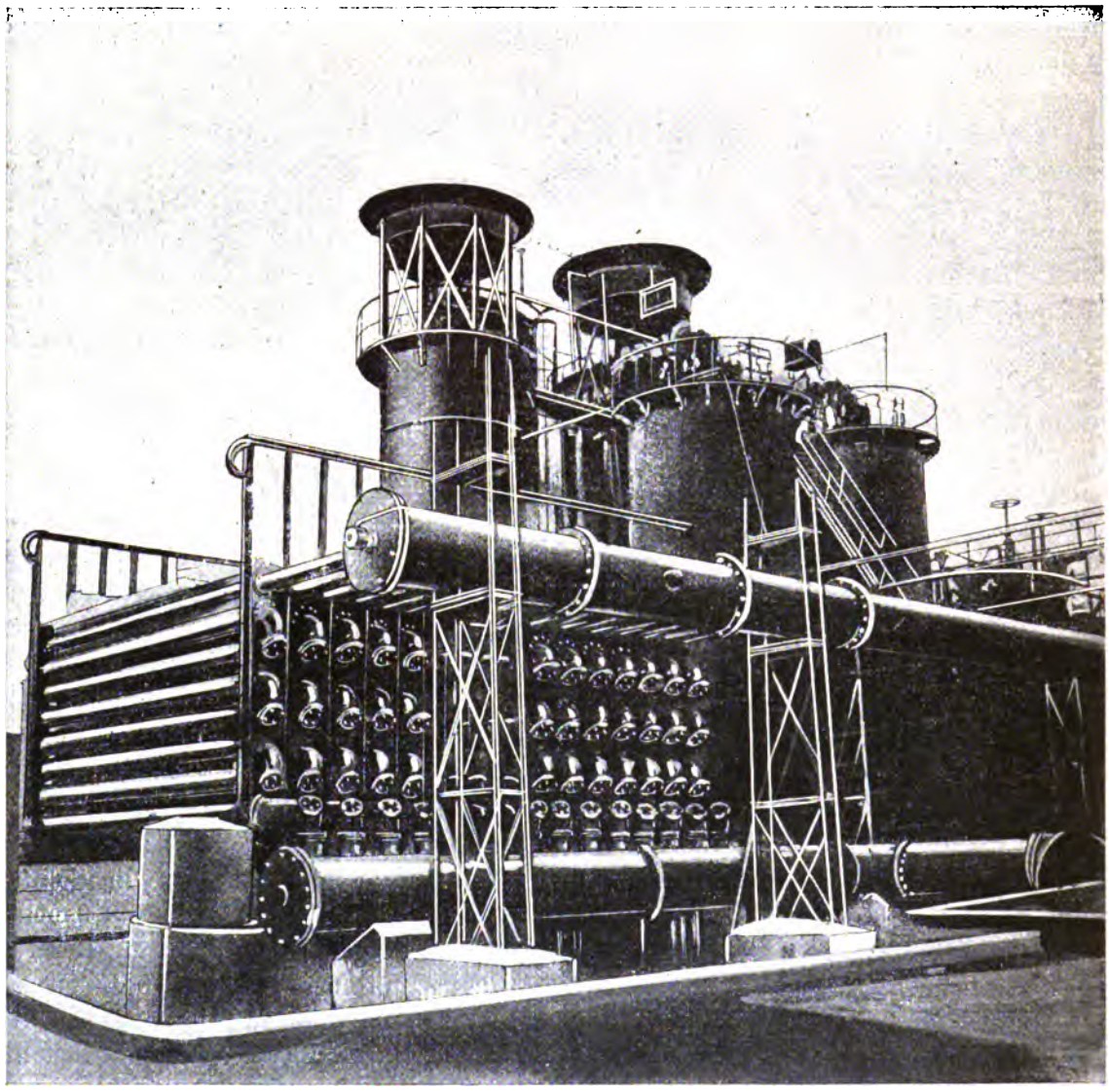


Fig. 127. — Réfrigérant de la mine Holland.

arrêts brusques du courant gazeux, on peut, par les chocs successifs des gaz, obtenir une séparation suffisamment complète des goudrons.

La figure 129 représente un de ces séparateurs Pelouze-Audouin construit par la *Kölnische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft*.

Le gaz arrive en *a* à la partie inférieure, passe par le tuyau *b* dans la cloche *g* qui, par son bord inférieur, plonge dans les goudrons contenus dans le vase *e*. Les parois de la cloche sont constituées de telle manière qu'il se produise des chocs sur les diverses surfaces, comme l'indique la figure 128. Quand le courant gazeux a traversé ainsi ces diverses

Digitized by Google

parois de la cloche, il sort en *c*. Le goudron, arrêté par les parois de la cloche, coule par le tuyau *f* dans la partie inférieure de la caisse, d'où il peut être évacué par l'ouverture *h*. La cloche *g* est partiellement équilibrée au moyen d'un contrepoids *l* qui agit sur elle par l'intermédiaire de la tige *i* et du câble *k*. La cloche *n*, plongée dans l'eau du vase *m*, permet d'avoir une fermeture étanche sans qu'il y ait aucun frottement sur la tige *i*. On peut, d'ailleurs, régler la position de la cloche en ajoutant ou retranchant des rondelles de plomb sur le contrepoids *l*; on peut même fixer ce contrepoids dans une position déterminée au moyen de la tige *o* et de la goupille *p* passée dans les trous de cette tige. Dans le cas du fonctionnement normal, la différence de pression des gaz à l'entrée et à la sortie est de 70 à 90 millimètres d'eau, en moyenne 80 millimètres d'eau. Le contrôle de la pression se fait au moyen d'un manomètre différentiel *s*, dont l'une des branches communique avec l'intérieur de la cloche *g*, et l'autre branche avec l'extérieur; la différence de niveau entre les deux branches mesure la résistance des parois de la cloche au passage des gaz. Afin d'éviter qu'il ne se fasse sur les ouvertures des parois en tôle de la cloche des dépôts adhérents de goudrons, la température dans la boîte où circulent les gaz ne doit pas descendre au-dessous de 18 à 20°.

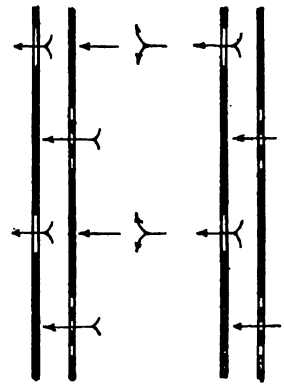


Fig. 128. — Principe du séparateur de goudrons Pelouze-Audouin.

La porte *q* permet d'accéder à la cloche *g* pour la nettoyer. En arrosant de temps en temps les tôles de la cloche avec de l'eau ammoniacale, on peut ne faire un nettoyage complet de l'appareil qu'à des intervalles de plusieurs mois; ce nettoyage complet nécessite l'enlèvement de la cloche *g* et son remplacement par une cloche de réserve. L'arrosage des parois de la cloche peut se faire au moyen du tuyau *r*.

Comme, avec les séparateurs à goudrons de ce type, il se produit souvent des engorgements, il est nécessaire, pour le bon fonctionnement de l'installation, d'avoir en réserve un autre appareil pouvant, par un simple jeu de vannes, être mis en service sans perte de temps.

On construit des séparateurs Pelouze pour des installations d'épuration de 1.000 à 60.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures.

Les appareils Pelouze se placent ordinairement aussitôt après les refroidisseurs. Toutefois, à l'usine à coke *Stumm* à *Neunkirchen*, on a obtenu de bons résultats en disposant un séparateur Pelouze derrière les appareils laveurs.

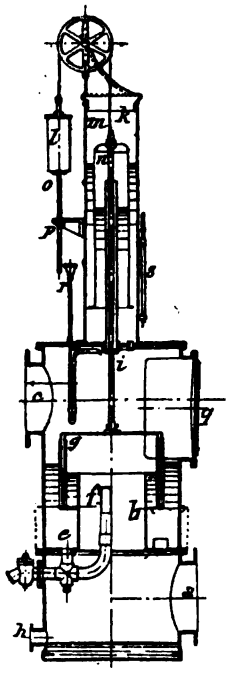


Fig. 129. — Séparateur de goudrons Pelouze-Audouin.

21. Scrubbers. — La séparation des goudrons n'est jamais complète dans les appareils précédents. Les dernières traces sont enlevées au moyen des *scrubbers* et des *laveurs à élimination d'ammoniaque*.

Dans les scrubbers, le contact le plus intime possible doit être réalisé entre les gaz et l'eau de lavage. Les scrubbers les plus répandus sont les *scrubbers à coke*, qui ont donné au puits Thérèse à Mährisch-Ostrau de bons résultats pour l'élimination des goudrons dans l'épuration des 500 mètres cubes de gaz à l'heure qui sont destinés à l'alimentation de deux moteurs de 300 chevaux. Dans cette installation, on a employé des scrubbers cylindriques

Digitized by Google

à coke ayant un diamètre de $2^m,50$ et une hauteur de 7 mètres : ces scrubbers contiennent à leur intérieur 4 claies distantes de $1^m,40$ et recouvertes chacune d'une couche de coke.

Pour multiplier les contacts entre l'eau et les gaz, on a construit des scrubbers de divers types. La figure 130 représente des claies du type *Zschocke;* elles sont constituées par des planches en forme de coin qui sont découpées et disposées comme le montre la figure 130.

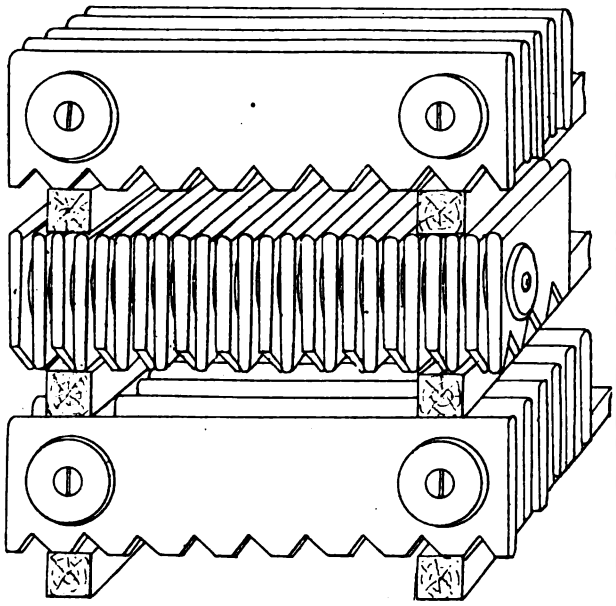


Fig. 130. — Claie de scrubber, type Zschocke.

L'eau coule sur ces claies de haut en bas, tandis que les gaz s'élèvent de bas en haut; les parties dentelées facilitent la formation des gouttes de l'eau d'arrosage. Deux appareils de ce type sont en service à la mine Holland; ils traitent 120.000 mètres cubes de gaz par jour et ne nécessitent que le remplacement de 24 mètres cubes d'eau; la teneur de la dissolution ammoniacale concentrée est de 12 à 14 grammes d'AzH^3 par litre; le gaz purifié ne contient plus que 1 gramme d'AzH^3 pour 100 mètres cubes.

La figure 131 représente un laveur à claies pour 60.000 mètres cubes de gaz à l'heure; il a une hauteur de 28 mètres. Afin d'assurer une bonne répartition du courant d'eau sur les claies, on divise celles-ci en trois groupes; chacun des groupes possède un système d'arro-

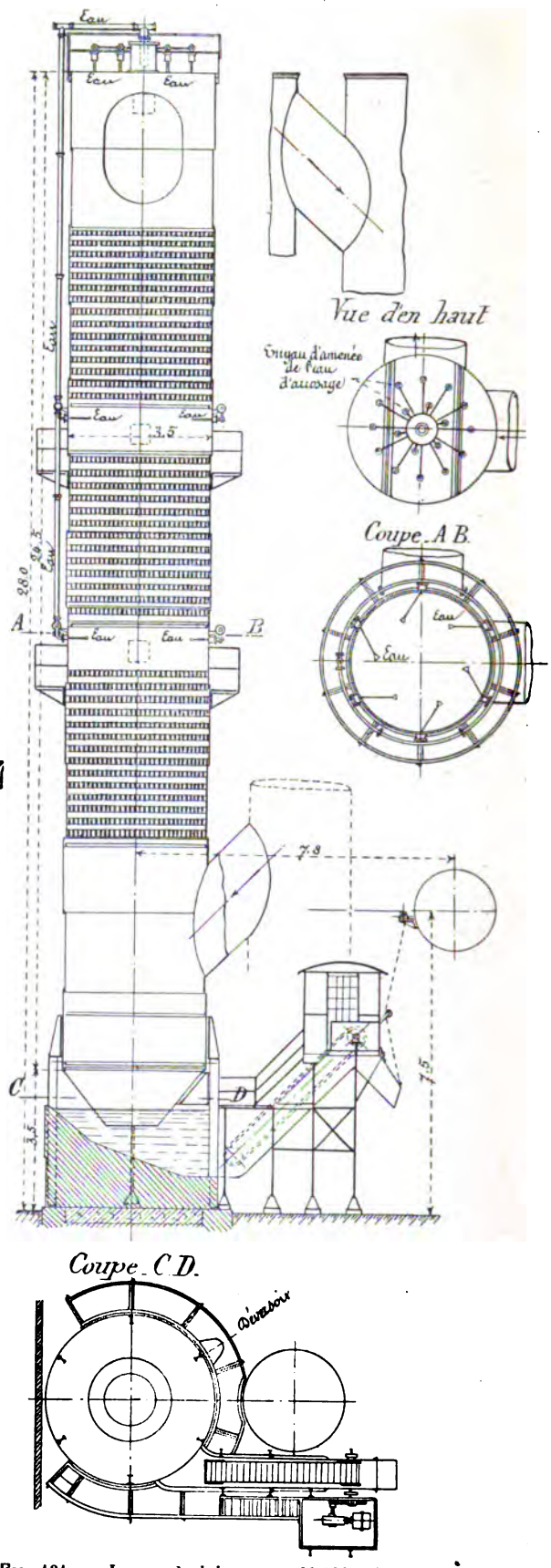


Fig. 131. — Laveur à claies pour 60.000 mètres cubes de gaz à l'heure (Louis Schwarz).

Digitized by Google

sage spécial, de telle sorte que le laveur représente un système de trois laveurs en série. Les prises d'eau d'arrosage sont d'ailleurs disposées comme l'indiquent les coupes placées sur le côté de la figure principale.

La figure 132 montre un scrubber à coke pour machines de 1.000 chevaux installées à la fosse *Ministre-Stein de la Compagnie des Mines de Gelsenkirchen*. Les claies qui portent le coke sont portées sur des plateaux disposés le long d'un arbre que l'on soulève ou que l'on abaisse au moyen d'une roue à main 8 et dont le mouvement est guidé par deux glissières 9. Il est alors possible, au moyen des clapets de nettoyage 6, d'enlever la claie inférieure dont le coke est le plus sale, de remplacer le coke par du coke nouveau, de reporter la claie à coke neuf à la partie supérieure, et de faire avancer d'un rang vers la partie inférieure les diverses claies à coke.

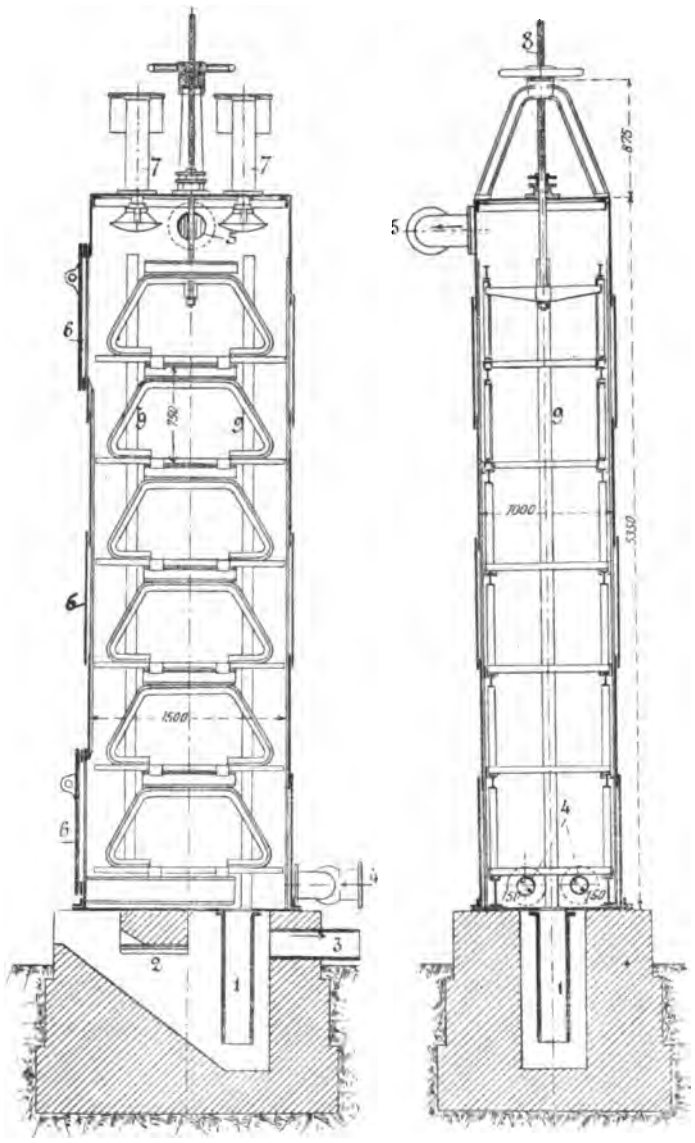


Fig. 132. — Scrubber à coke de la mine Ministre-Stein de la Compagnie des Mines de Gelsenkirchen.

1, Tuyau plongeur; — 2, Eau; — 3, Réservoir de l'eau; — 4, Entrée du gaz; — 5, Sortie du gaz; — 6, Clapet de nettoyage; — 7, Arrosoir; — 8, Roue à main; — 9, Glissière en fer.

22. Laveurs à gaz rotatifs. — Les laveurs à gaz rotatifs qui permettent la séparation non seulement de l'*ammoniaque*, mais encore de la *naphtaline*, du *cyanogène* et de l'*hydrogène sulfuré*, réalisent un contact encore plus intime de l'eau de lavage avec les gaz à épurer. On peut ainsi, avec des appareils relativement petits, épurer de grandes quantités de gaz.

A la mine *Mathias Stinnes*, l'ammoniaque est absorbée dans un tambour horizontal en fonte de 4 mètres de longueur et de 3 mètres de diamètre, tournant très lentement à la vitesse de 1 tour par minute. L'intérieur est garni de grilles en bois qui, par la rotation du tambour, viennent en contact avec l'eau de lavage placée à la partie inférieure. Les gaz viennent au contact des grilles, à la partie supérieure du tambour.

Afin de diminuer la dépense de force nécessaire pour produire le mouvement du lourd tambour, on préfère faire tourner très lentement à l'intérieur du tambour maintenu fixe

Digitized by Google

soit des *disques-brosses* (*Holmes*), soit des *paniers en formes de disques contenant des sphères à leur intérieur* (*Zschocke*).

Le laveur, type *Holmes*, se compose d'un tambour divisé en chambres séparées par des parois en tôle. Dans chacune de ces chambres tourne un disque-brosse en fibre de piazzava. L'enchevêtrement des fibres a pour effet de diviser la masse gazeuse et de faciliter le contact intime avec l'eau de lavage. Les disques porteurs de ces brosses ont un diamètre tel que les extrémités des brosses viennent frotter légèrement contre les parois intérieures

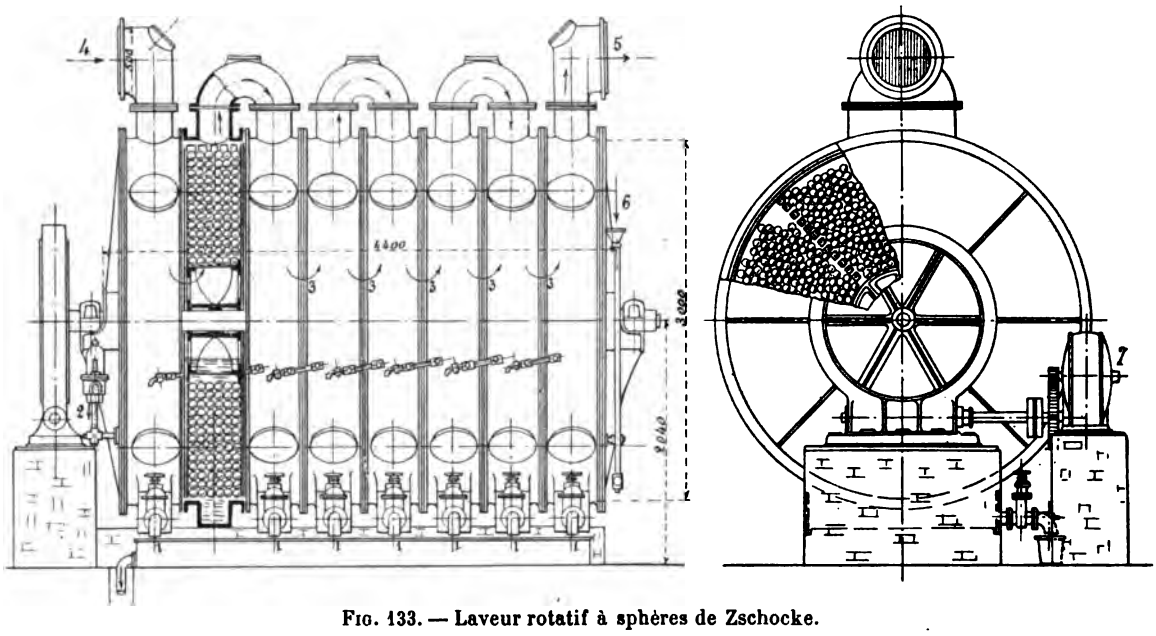


Fig. 133. — Laveur rotatif à sphères de Zschocke.
1, Robinets de purge des divers compartiments du tambour; — 2, Sortie de l'eau; — 3, Gaz; — 4, Entrée du gaz; 5, Sortie du gaz; — 6, Entrée de l'eau; — 7, Moteur électrique faisant tourner le laveur.

des chambres de lavage; il se produit par là de légères vibrations de ces brosses qui facilitent la dissolution de l'ammoniaque dans l'eau de lavage. Les brosses sont fixées aux disques porteurs de telle manière que chacune d'elles puisse être sortie par un trou de visite.

On construit actuellement des laveurs rotatifs *Holmes* capables d'épurer de 4.000 à 115.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures.

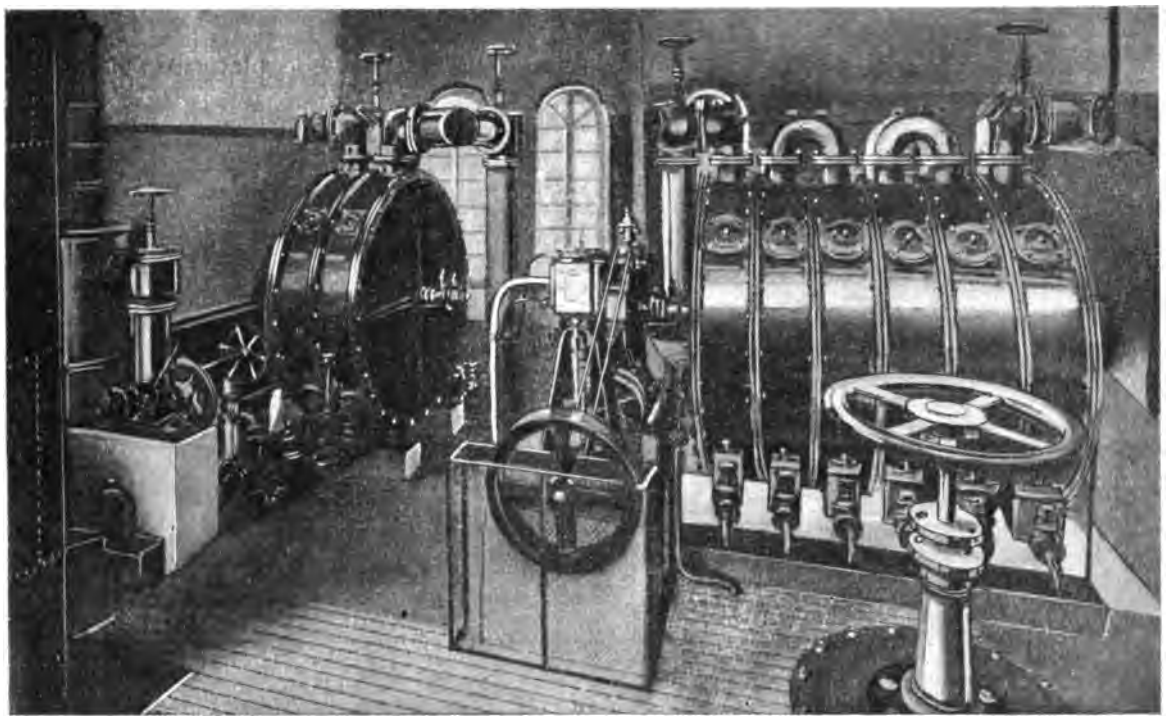
Dans le laveur à sphères *Zschocke* (*fig.* 133), les paniers-disques, qui tournent dans les chambres en lesquelles est divisé le tambour, contiennent des sphères en bois dur percées de trous. Par la rotation des disques, les petites sphères sont constamment recouvertes d'une couche continuellement renouvelée du liquide laveur; elles offrent ainsi aux gaz des surfaces de liquide laveur toujours fraîches. De plus, le frottement des sphères les unes sur les autres empêche les engorgements qui pourraient être produits par les dépôts de naphtaline ou autres impuretés solides. La puissance nécessaire pour faire tourner un laveur Zschocke est faible; il suffit de 3/4 HP pour les petits appareils et de 1 HP pour les grands appareils.

Dans certains laveurs Zschocke, comme celui qui est représenté sur la figure 134, un premier séparateur de naphtaline est disposé avant le laveur à ammoniaque qui sert en même temps de second séparateur de naphtaline.

23. Séparation du cyanogène et de l'hydrogène sulfuré. — Les appareils précédents permettent de séparer les goudrons, les carbures d'hydrogène solides et les sels ammoniacaux. Ils débarrassent les gaz d'une partie du *cyanogène* et de l'*hydrogène sulfuré*

Digitized by Google

qu'ils contiennent. Mais, dans certains cas, cette dernière épuration doit être poussée plus loin, car le cyanogène attaque les parois des conduites et des moteurs, comme l'ont montré les expériences faites par *Reuter* et *Hussmann*. Suivant les exploitations, les ingénieurs ont



Séparateur de naphtaline. Laveur à ammoniaque.

FIG. 134. — Installations de laveurs à sphères Zschocke pour la séparation de la naphtaline et des composés ammoniacaux.

été amenés à porter plus particulièrement leur attention sur cette dernière épuration. A l'usine à coke *Stumm*, de Neunkirchen, la séparation du soufre a été reconnue absolument nécessaire. A la mine *Ministre-Stein*, on a remarqué que le SO^2 formé dans la combustion de

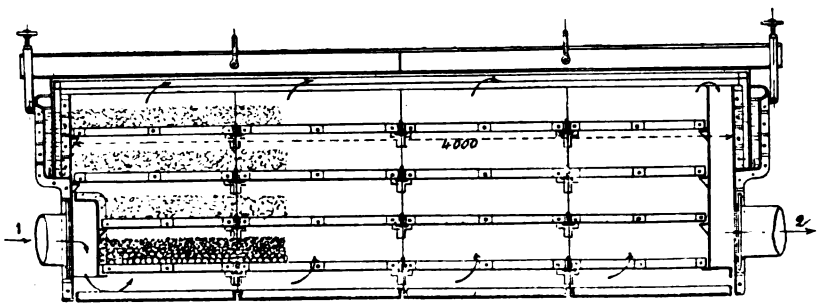


FIG. 135. — Épurateur sec de Zschocke pour gaz de fours à coke.
1, Entrée des gaz; — 2, Sortie des gaz.

l'hydrogène sulfuré attaquait surtout les tiges des soupapes. A l'usine *Julie* (*Julienhütte*) et aux *usines Borsig* dans la Haute-Silésie, on n'a pas eu jusqu'ici à s'occuper de cette épuration.

Cette épuration est actuellement réalisée en faisant passer le gaz sur le *mélange Laming*, qui, on le sait, est formé de *sulfate de fer*, de *chaux éteinte* et de *sciure de bois*. En passant

Digitized by Google

sur ce mélange, l'hydrogène sulfuré donne du sulfure de fer et le cyanogène du bleu de Prusse. Mais cette épuration à sec présente souvent l'inconvénient de ne pas être très efficace. C'est pourquoi Bueb a proposé de faire passer le gaz dans une dissolution concentrée de sulfate de fer placée entre les séparateurs de goudron et les laveurs employés pour retenir l'ammoniaque.

Toutefois, l'emploi du mélange Laming s'est généralisé ; on le place en couches de

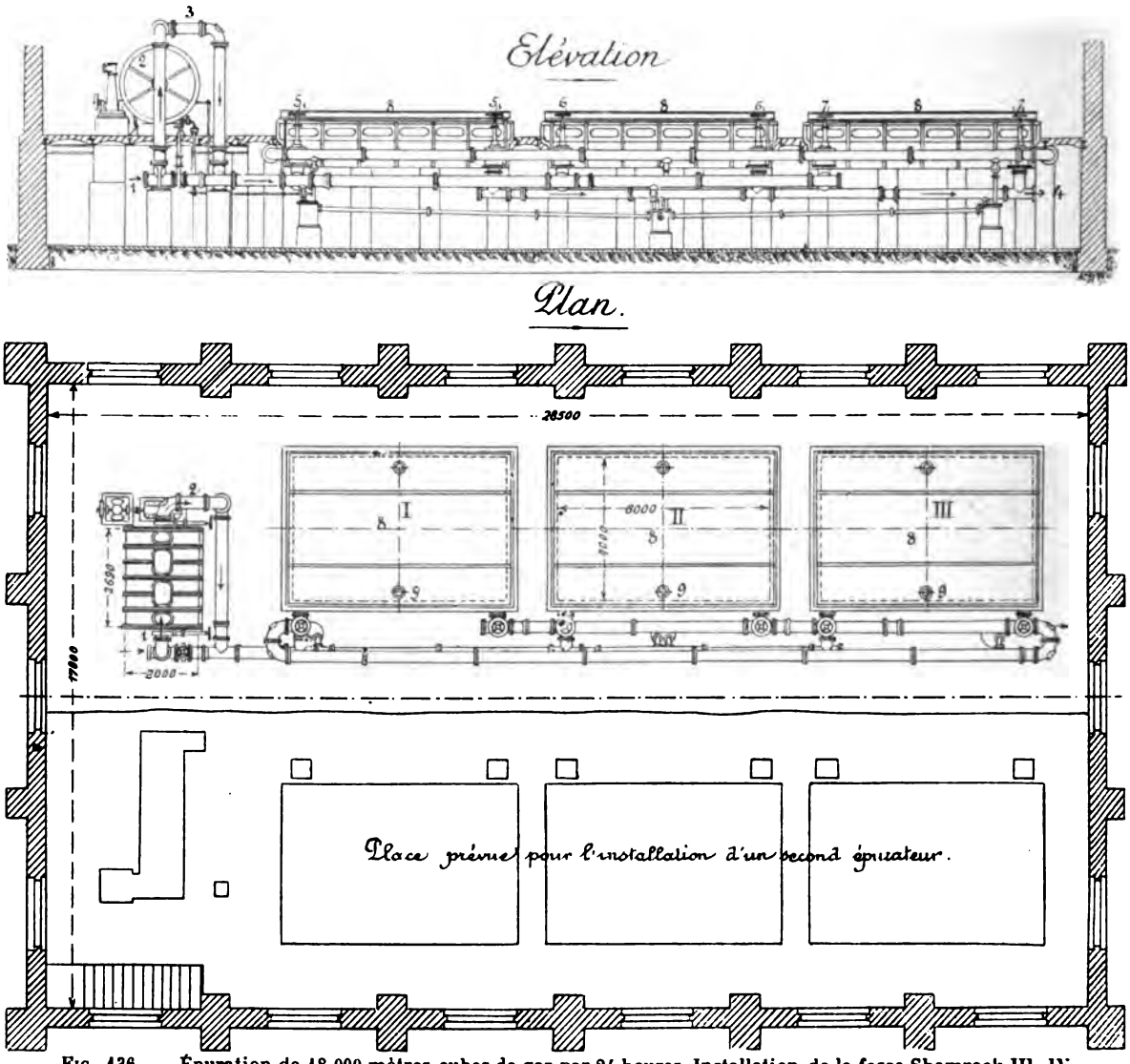


Fig. 136. — Épuration de 18.000 mètres cubes de gaz par 24 heures. Installation de la fosse Shamrock III, IV de la Compagnie Hibernia faite par les usines Zschocke de Kaiserslautern.

1, Entrée du gaz dans l'appareil ; — 2, Laveur rotatif à sphères ; — 3, Sortie du gaz du laveur rotatif ; — 4, Sortie des gaz de l'appareil ; — 5-5_1, 6-6_1, 7-7_1, Vannes ; — 8, Epurateurs secs ; — 9, Soupapes de communication avec l'air.

15 à 20 centimètres sur des claies disposées les unes au-dessus des autres dans des caisses. Les gaz arrivent à la partie supérieure de ces caisses et sortent à la base, ou arrivent à la base et sortent à la base en suivant le chemin marqué par des flèches sur la figure 135 ; ils traversent les couches pulvérulentes du mélange à une vitesse maximum de 10 millimètres par seconde, afin de permettre un contact suffisamment prolongé avec les sels de fer.

Pour diminuer l'encombrement et la résistance au passage des gaz, on construit actuellement des épurateurs à mélange Laming dans lesquels les gaz, à une vitesse de

Digitized by Google

5 millimètres par seconde, traversent un bloc compact de ce mélange ayant jusqu'à 36 mètres carrés de base et $1^m,50$ de hauteur. Divers systèmes sont employés pour empêcher le mélange pulvérulent de se tasser et d'arrêter ainsi la circulation des gaz. Citons le système *Bamag à jalousies*, construit par la *Berlin-Anhaltischen Maschinenfabrik;* le système *Jäger*, dont on trouvera la description dans le mémoire de M. Baum.

La figure 136 représente une installation composée d'un laveur rotatif à sphères et d'épurateurs à sec.

24. Filtration des gaz au travers de sciure ou de laine fine de bois. — Les usines qui emploient encore les épurateurs où le mélange Laming est répandu sur des claies séparées, placées dans des caisses, ont été amenées à filtrer les gaz avant leur entrée aux moteurs au travers de couches de sciure de bois ou de laine fine de bois ayant une épaisseur de 15 à 20 centimètres. On évite ainsi les inconvénients qui résultent de l'existence de cheminées au travers du mélange Laming, cheminées qui laissent passer des gaz impurs. De plus, cette filtration a l'avantage d'arrêter les dernières traces des goudrons, les fines particules d'eau ou d'huile lourde qui proviennent des scrubbers ou des laveurs à benzol.

On emploie ces filtres dans les usines où l'on n'a pas à s'inquiéter de la séparation de l'hydrogène sulfuré et du cyanogène, comme cela arrive en Haute-Silésie et à Mährisch-Ostrau.

Aux usines *Julie* (Julienhütte), par exemple, les caisses des épurateurs à sec contiennent à la partie supérieure des couches de masse Laming et à la partie inférieure des couches formées seulement de sciure de bois. Ces caisses ont une hauteur de 1 mètre; elles contiennent trois claies de $1^m,50$ de surface portant 20 centimètres de matière filtrante; le nombre de ces caisses est égal à dix, disposées deux à deux en série (batterie de cinq séries). Cette disposition permet de nettoyer chaque série toutes les six ou huit semaines.

Aux usines Borsig, il y a deux grands épurateurs à sciure de bois ayant $1^m,00$ de haut et $3^{m2},5$ de surface. Les quatre épurateurs de la mine Thérèse ont chacun $1^{m2},95$ de surface et $0^m,75$ de haut; ils contiennent deux couches de sciure de bois et de laine de bois; ils ont surtout pour but de séparer les dernières traces des goudrons et l'eau venant des scrubbers.

De grandes installations d'épuration pour l'hydrogène sulfuré ont été faites par la *Kölnische Maschinenbau A.G.*, au puits *Anna* de l'*Union des mines d'Eschweiler* et à la mine *Ministre-Stein*. Sous un hangar de 23 mètres de longueur et 10 mètres de largeur, on a installé quatre grands épurateurs ayant chacun 20 mètres carrés de surface; ces épurateurs contiennent du mélange Laming dans la proportion de 1 mètre cube pour 10.000 mètres cubes de gaz à épurer; ce mélange peut être régénéré à l'air jusqu'à dix fois.

25. Épuration chimique par l'hydrate d'oxyde de fer en suspension dans l'eau. — Citons, en terminant, un autre mode d'épuration des composés sulfurés, qui est employé à la mine *Mathias Stinnes*. Le gaz passe dans un laveur à tambour qui est en partie rempli d'eau, dans laquelle se trouve en suspension de l'hydrate d'oxyde de fer. Par saturation au moyen de l'hydrogène sulfuré, celui-ci se transforme en une boue de sulfure de fer que l'on enlève. Pour régénérer en partie l'hydrate d'oxyde de fer, il suffit de faire passer dans l'épurateur un courant d'air sous pression.

26. Exhausteurs et régulateurs de pression. — Ces installations d'épuration des gaz de fours à coke sont enfin complétées par des *pompes de divers types avec régulateurs de*

Digitized by Google

pression qui produisent un mouvement régulier des gaz dans l'ensemble de ces appareils.

On voit combien est complexe la suite des appareils d'épuration des gaz de fours à coke. Indiquons dans le tableau suivant la composition de quelques-unes des installations qui fonctionnent en ce moment.

TABLEAU XXV

COMPOSITION DE QUELQUES INSTALLATIONS D'ÉPURATION DES GAZ DE FOURS A COKE

USINES A COKE DU SCHLESWIG-HOLSTEIN	MINE ROI-LOUIS	MINE MINISTER-STEIN	MINE SCHARNHORST	MINE MATHIAS STINNES
6 refroidisseurs à circulation d'air. 2 refroidisseurs à tubes d'eau. Pompe exhausteur pour les gaz. 1 séparateur de goudrons Pelouze. 2 refroidisseurs à tuyaux. 1 laveur à claies. 1 gazomètre. 1 épurateur à sec avec trois couches de laine de bois. 1 régulateur de pression.	1 refroidisseur à courant d'air. 1 refroidisseur à courant d'eau. Pompe exhausteur pour les gaz. 3 séparateurs de goudrons. 3 laveurs avec tubes métalliques.	6 refroidisseurs à courant d'air. 2 refroidiss. à eau. Pompe à gaz à piston servant d'exhausteur pour les gaz. 2 refroidisseurs terminaux. 2 laveurs à colonnes. 1 laveur à claies. 3 laveur-séparateurs du benzol.	1 refroidisseur à tubes de circulation d'air. 1 refroidisseur à eau. 1 injecteur Körting servant d'exhausteur. 2 refroidisseurs à eau. 1 laveur-séparateur de l'ammoniaque et du benzol.	1 refroidisseur à circulation d'air. 1 refroidisseur à eau. 1 séparateur de goudrons. Une installation de lavage comprenant : *a*) laveur-séparateur du cyanogène ; *b*) laveur-séparateur de l'ammoniaque ; *c*) laveur-séparateur de l'hydrogène sulfuré ; *d*) laveur-séparateur du benzol.

Digitized by Google

CHAPITRE IX

LES GRANDS MOTEURS A GAZ[1]

I

DÉFINITION DES TYPES ET DES GROUPEMENTS DES MOTEURS A GAZ DE GRANDE PUISSANCE

1. Types auxquels appartiennent les moteurs à gaz à grande puissance. — Les moteurs à gaz de grande puissance actuellement employés dans l'industrie sidérurgique appartiennent à deux types principaux :

1° Les moteurs à quatre temps ;

2° Les moteurs à deux temps.

Indiquons rapidement quel est le principe de ces moteurs et comment on peut les grouper.

2. Fonctionnement à quatre temps. — Simple effet. — Le fonctionnement à quatre temps comprend la suite des opérations suivantes qui se succèdent *sur une des faces du piston* de la machine pendant une *double* révolution de l'arbre.

(1) Baum, *Die Verwertung des Koksofengases* (Berlin, J. Springer, 1904);
J. Deschamps, *les Grands Moteurs à gaz et l'Utilisation des gaz de hauts fourneaux* (Paris, Dunod);
L. Descroix, *les Gros Moteurs à gaz et la Sidérurgie* (*Bulletin de la société d'Encouragement à l'Industrie nationale*; mémoires originaux de la *Revue de Métallurgie*, 3e année, n° 4, décembre 1906);
Fr. Freytag, *Die Kraftmaschinen auf der Weltaustellung in Lüttich* 1905 (*Dinglers Polytechnisches Journal*, 86e année, t. CCCXX, septembre à décembre 1905);
H. Dubbel, *Bemerkenswerte Kraftmaschinen auf der Weltaustellung zu Lüttich* 1905 (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XLIX, 2 septembre 1905);
H. Hoffmann, *Kraftgewinnung und Kraftverwertung in Berg- und Hüttenwerken* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. L, n° 38, 22 septembre 1906);
Hubert, *l'Evolution de la construction des Grands Moteurs à gaz en Belgique* (Congrès de Mécanique tenu à Liège, le 1er juillet 1905);
Lürmann (*Stahl und Eisen*, n° 10, 1899; nos 9 et 10, 1901);
Mathot, *Large gas engines* (*Engineering*, 1er septembre 1905);
Mathot, *The growth of large engines on the continent* (*Meeting of the Institution of Mechanical Engineers in Liege*, 21 juin 1905, Storey's Gate, Saint-James's Park, Westminster, S. W.; — *Revue de Mécanique*, t. XVII, n° 3, 30 septembre 1905);
Mathot, *Mode de réglage. Cycles et construction des moteurs à combustion interne* (Congrès de Mécanique tenu à Liège, le 1er juillet 1905);
Meyer, *Ueber Gross-Gasmaschinen* (*Stahl und Eisen*, n° 10, 1899; nos 2 et 3, 1905; — *Revue de Métallurgie*, 2e année, 538, 556, 1905);
Neumann, *Die doppeltwirkenden Grossgasmotoren des Gasmotoren Fabrik Deutz* (*Die Gasmotorentechnik*, 5e année, n° 7, octobre 1905);
Peter, *Die Bedeutung des Gichtgases für die elektrische Traction in unseren Berg- und Hüttenrevieren nebst Erörterung der Betriebsstetigkeit in Gichtgas-Bahnzentralen* (*Annalen für Gewerbe und Bauwesen*, t. LV, nos 7, 8, 9, 1904);
Reinhardt, *Verschiedene Constructionen von Grossgasmotoren* (*Stahl und Eisen*, 1er novembre 1902);
Reinhardt, *Die Verwendung von Grossgasmaschinen in deutschen Hütten- und Zechenbetrieben* (*Stahl und Eisen*, nos 15, 16, 17 et 18, 1906; — *Revue de Mécanique*, 31 octobre 1906);
Riedler, *Gross-Gasmaschinen* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XLIX, n° 8, 25 février 1905);
T. Westgarth, *les Grands Moteurs à gaz construits en Grande-Bretagne* (*The Engineering Review*, t. XV, septembre 1906).

Digitized by Google

Premier tour de l'arbre	1er *temps :* Aspiration du mélange tonnant pendant une course entière du piston.	Première course de gauche à droite (moteur horizontal).
	2e *temps :* Compression du mélange dans le fond du cylindre.	Première course de droite à gauche (moteur horizontal).
Deuxième tour de l'arbre	3e *temps :* Allumage, explosion, détente des gaz brûlés ; *c'est la course motrice.*	Deuxième course de gauche à droite (moteur horizontal).
	4e *temps :* Refoulement des gaz brûlés hors du cylindre.	Deuxième course de droite à gauche (moteur horizontal).

Si l'on met en relation avec un indicateur la partie du cylindre où se produisent les transformations que nous venons d'énoncer, on obtient le diagramme représenté sur la figure 137. La figure 138 représente les diverses phases du fonctionnement à quatre temps par rapport aux angles décrits par la manivelle à partir d'une position initiale, un angle de 180° correspondant à un temps ou à une course du piston.

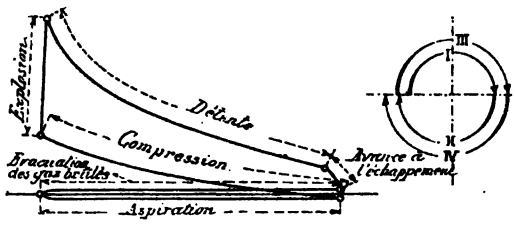


Fig. 137. — Diagramme d'indicateur d'un moteur à quatre temps.

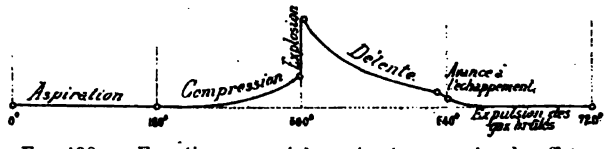


Fig. 138. — Fonctionnement à quatre temps : simple effet, une course motrice pour deux tours de l'abre.

3. Fonctionnement à quatre temps. — Double effet ; un seul cylindre. — Si les transformations du mélange combustible que nous venons de définir se produisent en même temps sur les deux faces du piston d'un moteur, celui-ci est dit *à double effet.*

Le fonctionnement d'un moteur à double effet *horizontal* peut être caractérisé de la manière suivante.

		A GAUCHE DU PISTON	A DROITE DU PISTON
Premier tour de l'arbre	Première course du piston de gauche à droite.	1er *temps :* Aspiration.	2e *temps :* Compression.
	Première course du piston de droite à gauche.	2e *temps :* Compression.	3e *temps :* Explosion et détente (*course motrice*).
Deuxième tour de l'arbre	Deuxième course du piston de gauche à droite.	3e *temps :* Explosion et détente (*course motrice*).	4e *temps :* Expulsion des gaz brûlés.
	Deuxième course du piston de droite à gauche.	4e *temps :* Expulsion des gaz brûlés.	1er *temps :* Aspiration.

Digitized by Google

La figure 139 représente les différentes phases du fonctionnement du moteur par rapport aux angles décrits par la manivelle.

On voit immédiatement que, *dans le moteur à simple effet*, il n'y a qu'*une seule course motrice sur quatre courses du piston ou deux tours de l'arbre ;* au contraire, *dans le moteur à double effet*, il y a *deux courses motrices sur deux tours de l'arbre* ou *une course motrice à chaque tour de l'arbre.*

4. Fonctionnement à quatre temps. — Double effet; deux cylindres à simple effet opposés. — On peut réaliser ce mode de fonctionnement en employant deux cylindres à simple effet opposés suivant le dispositif représenté sur la figure 140, sur laquelle il est facile de voir que le cylindre de droite joue le rôle de la partie située à droite du piston dans le cylindre à double effet, et qu'il en est de même du cylindre de gauche par rapport à la partie du cylindre à double effet située à gauche du piston.

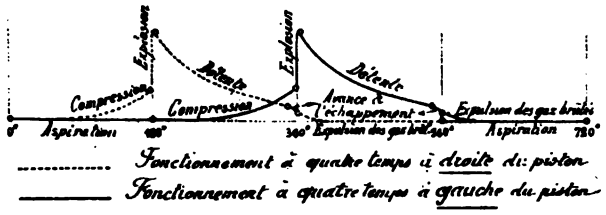


Fig. 139. — Fonctionnement à quatre temps : double effet, deux courses motrices pour deux tours de l'arbre.

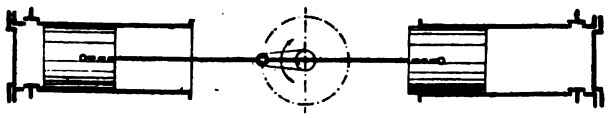


Fig. 140. — Fonctionnement à quatre temps : double effet, deux cylindres à simple effet opposés.

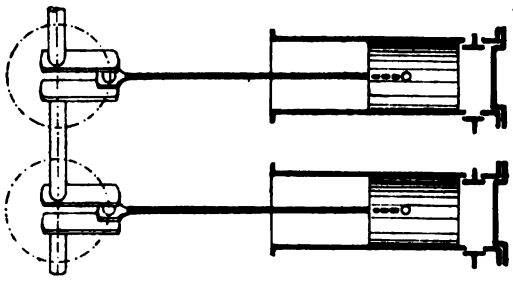


Fig. 141. — Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à simple effet jumelés.

5. Fonctionnement à quatre temps; deux cylindres à simple effet jumelés, cylindres à simple effet en tandem. — Au lieu d'opposer par rapport à un même arbre deux cylindres à simple effet, on peut les *jumeler* comme le montre la figure 141. Avec ce dispositif, le fonctionnement du moteur est le suivant.

		CYLINDRE A	CYLINDRE B
Premier tour de l'arbre	Première course des pistons de gauche à droite.	1er *temps :* Aspiration.	3e *temps :* *Course motrice.*
	Première course des pistons de droite à gauche.	2e *temps :* Compression.	4e *temps :* Evacuation des gaz brûlés.
Deuxième tour de l'arbre	Deuxième course des pistons de gauche à droite.	3e *temps :* *Course motrice.*	1er *temps :* Aspiration.
	Deuxième course des pistons de droite à gauche.	4e *temps :* Evacuation des gaz brûlés	2e *temps :* Compression.

Digitized by Google

La figure 142 représente ce mode de fonctionnement rapporté aux angles faits par la manivelle avec une position origine.

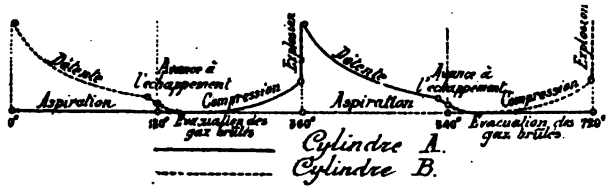


Fig. 142. — Fonctionnement à quatre temps: deux cylindres à simple effet jumelés, une course motrice par tour de l'arbre.

Les deux courses motrices, au lieu d'être consécutives comme dans les modes de fonctionnement qui précèdent, sont séparées par la course résistante de compression.

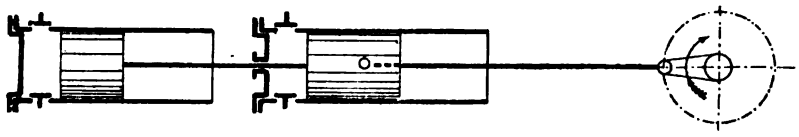


Fig. 143. — Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à simple effet en tandem.

Le dispositif en *tandem* de la figure 143 donne également une course motrice par tour,

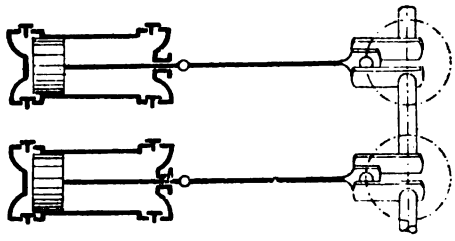


Fig. 144. — Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à double effet jumelés.

les deux courses motrices correspondant à deux tours de l'arbre étant séparées par une course de compression.

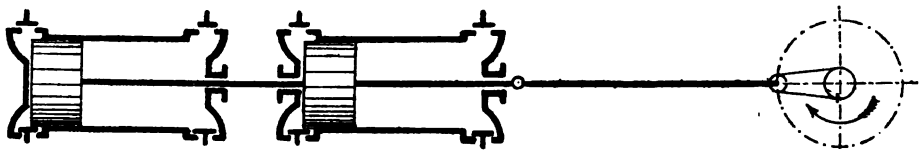


Fig. 145. — Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à double effet en tandem.

6. Fonctionnement à quatre temps; deux courses motrices par tour de l'arbre. — Jusqu'ici nous avons réalisé une course motrice par tour de l'arbre. Mais on

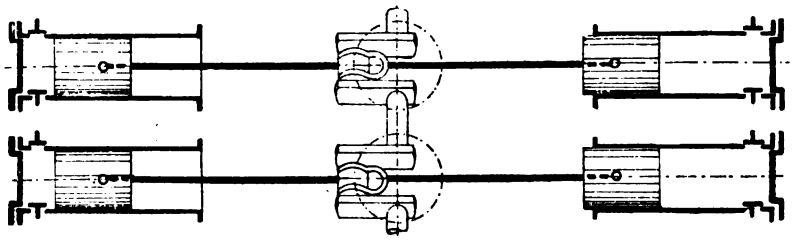


Fig. 146. — Fonctionnement à quatre temps: quatre cylindres à simple effet opposés.

peut obtenir *deux courses motrices par tour de l'arbre ou une course motrice par course du piston*, en employant les dispositifs suivants :

Digitized by Google

Deux cylindres à double effet jumelés (*fig.* 144) ; deux cylindres à double effet en tandem (*fig.* 145) ; quatre cylindres à simple effet opposés (*fig.* 146).

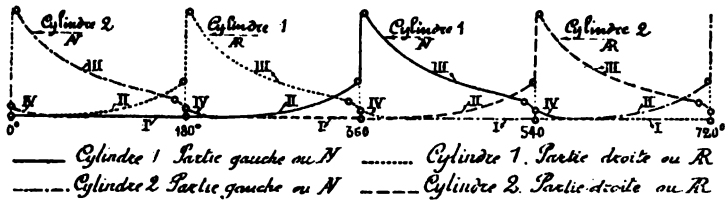


FIG. 147. — Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à double effet jumelés, deux courses motrices par tour de l'arbre.

Représentons le fonctionnement d'un moteur formé de deux cylindres à double effet jumelés (*fig.* 144 et *fig.* 147).

		CYLINDRE 1		CYLINDRE 2	
		PARTIE GAUCHE	PARTIE DROITE	PARTIE GAUCHE	PARTIE DROITE
1er tour de l'arbre	1re course des pistons de gauche à droite.	1er *temps :* Aspiration.	2e *temps :* Compression.	3e *temps :* *Course motrice.*	4e *temps :* Evacuation des gaz brûlés.
	1re course des pistons de droite à gauche.	2e *temps :* Compression.	3e *temps :* *Course motrice.*	4e *temps :* Evacuation des gaz brûlés.	1er *temps :* Aspiration.
2e tour de l'arbre	2e course des pistons de gauche à droite.	3e *temps :* *Course motrice.*	4e *temps :* Evacuation des gaz brûlés.	1er *temps :* Aspiration.	2e *temps :* Compression.
	2e course des pistons de droite à gauche.	4e *temps :* Evacuation des gaz brûlés.	1er *temps :* Aspiration.	2e *temps :* Compression.	3e *temps :* *Course motrice.*

7. Fonctionnement à deux temps. — Cylindre à simple effet. — Dans un moteur à quatre temps, il faut, pour avoir une course motrice par tour, faire agir sur un arbre, soit un cylindre à double effet, soit deux cylindres à simple effet. On a cherché à obtenir ce même résultat avec un seul cylindre à simple effet fonctionnant *à deux temps*.

Les figures 148 et 149 représentent le schéma d'un moteur fonctionnant dans ces conditions.

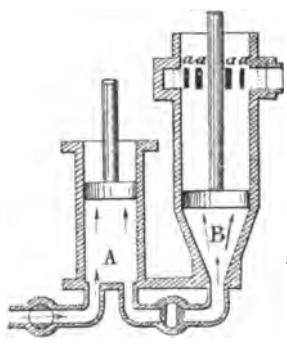


FIG. 148. — Schéma d'un moteur à deux temps.

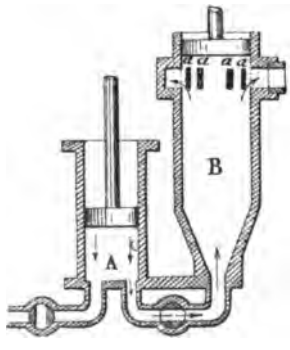


FIG. 149. — Schéma d'un moteur à deux temps.

Il se compose essentiellement de deux cylindres parallèles : l'un A est une pompe, l'autre B est le cylindre-moteur. Les manivelles qui commandent les bielles

Digitized by Google

des deux pistons sont à peu près à 90° l'une de l'autre, c'est-à-dire que, lorsque l'un des pistons est à une extrémité de sa course, l'autre est à peu près à la moitié de la sienne. Le fonctionnement est le suivant.

	POMPE A	CYLINDRE-MOTEUR B
Un seul tour de l'arbre	1er *temps :* Fin de l'aspiration du mélange tonnant (*fig.* 148). — Retour du piston, compression du mélange tonnant, passage de ce mélange de A en B (*fig.* 149).	1er *temps :* Explosion, détente, évacuation des gaz brûlés par les orifices *a* découverts par le piston à la fin de la course (*fig.* 149). Introduction de mélange tonnant. — *Course motrice.*
	2e *temps :* Fin du passage du mélange tonnant de A en B. — Retour en arrière du piston. Début de l'aspiration du mélange tonnant.	2e *temps :* Fin de l'évacuation des gaz brûlés favorisée par le passage du mélange tonnant de A en B. — Compression du mélange tonnant.

Si on monte un indicateur sur le cylindre-moteur B, on obtient le diagramme de la figure 150. Dans les périodes correspondant à la compression, à l'explosion et à la détente, ce diagramme ne diffère pas de celui du moteur à quatre temps ; il s'en distingue nettement dans la partie *efc*. L'évacuation des gaz brûlés commence en *e* un peu avant le point mort *f* ; les orifices d'évacuation sont bouchés en *c* par le piston un peu après le point mort *f* ; c'est pendant une grande partie de cette courte période d'aller et de retour du piston que la pompe A fait pénétrer le mélange tonnant dans le cylindre-moteur.

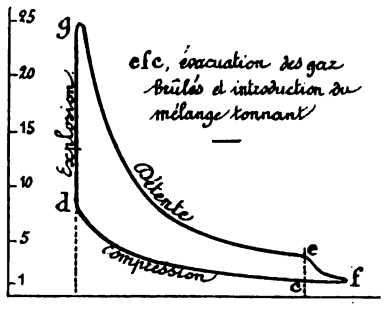


Fig. 150. — Diagramme d'un moteur à deux temps.

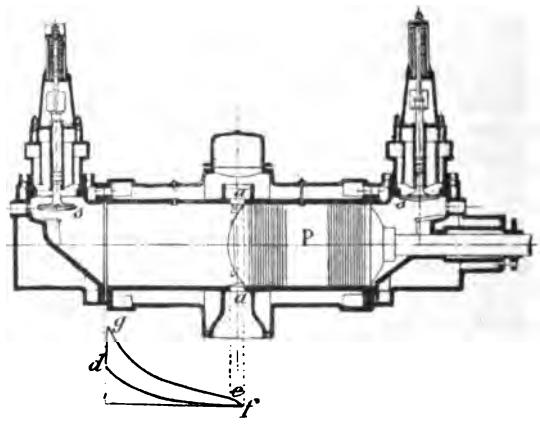


Fig. 151. — Fonctionnement à deux temps ; cylindre à double effet.

8. Fonctionnement à deux temps. — Cylindre à double effet. — Supposons maintenant que le cylindre-moteur, au lieu d'être à simple effet, soit à double effet comme sur la figure 151, dans laquelle les orifices d'évacuation *a* sont dans la partie médiane du cylindre et les soupapes d'admission *s* se trouvent aux deux extrémités. Le fonctionnement est le suivant.

Digitized by Google

		A GAUCHE DU PISTON	A DROITE DU PISTON
Un seul tour de l'arbre	1er *temps :* Le piston P se meut de gauche à droite.	Explosion, détente, évacuation des gaz brûlés par les orifices *a*, introduction de mélange tonnant. — *Course motrice.*	Fin de l'évacuation des gaz brûlés et de l'introduction du mélange neuf. Compression.
	2e *temps :* Le piston P se meut de droite à gauche.	Fin de l'évacuation des gaz brûlés et de l'introduction du mélange neuf. Compression.	Explosion, détente, évacuation des gaz brûlés, introduction de mélange tonnant. — *Course motrice.*

Il y a donc *une course motrice par course du piston* ou *deux courses motrices par tour de l'arbre.*

9. Le développement des grands moteurs à gaz. — Le moteur Simplex de Delamare-Deboutteville et Malandin. — Le premier moteur monocylindrique à simple effet de 100 chevaux est dû à deux ingénieurs français, *Delamare-Deboutteville* et *Malandin* (1). Ce moteur, dénommé le *Simplex*, fut exposé à Paris à l'Exposition universelle de 1889. Son cylindre a 575 millimètres d'alésage et 950 millimètres de course ; l'arbre à manivelle a 240 millimètres de diamètre ; les deux volants ont chacun $3^m,60$ de diamètre et un poids de 3.900 kilogrammes ; la vitesse de rotation est de 107 tours par minute. L'allumage est électrique ; il est effectué par une étincelle jaillissant d'une manière continue dans une chambre de combustion placée à l'arrière du cylindre et communiquant avec lui en temps voulu par un orifice percé dans le tiroir de distribution. Le mélange de l'air avec le gaz combustible s'opère dans un réservoir sphérique fixé contre le chapeau du tiroir. L'admission, opérée d'après le principe du *Tout ou Rien*, est réglée par un régulateur-pendule d'un ingénieux modèle. Enfin, la mise en marche est obtenue par un dispositif de mise en train permettant à un seul homme de faire tourner un moteur de 100 chevaux.

En 1890, MM. Matter et Cie montent à Pantin, aux moulins Abel Leblanc, un moteur Simplex de 200 chevaux. Ce moteur, qui reste pendant longtemps le plus puissant moteur à gaz monocylindrique, présente les dimensions suivantes :

Alésage	870 millimètres
Course du piston	1.000 —
Nombre de tours par minute	100 tours

Ce moteur est alimenté par du gaz pauvre produit par un gazogène ; la dépense de charbon d'Anzin n'atteint pas 500 grammes par cheval-heure effectif en marche industrielle.

Mais le grand succès et la renommée des moteurs Simplex datent de la collaboration de Delamare-Deboutteville et des ingénieurs de la Société Cockerill à Seraing, près Liège.

10. Moteur Cockerill à simple effet. — Ceux-ci, frappés des avantages que peut présenter le moteur Simplex au point de vue de l'utilisation des gaz de hauts fourneaux, font un premier essai avec un petit moteur de ce type. La mise en marche a lieu le

(1) Voir pour la description de ce premier moteur *Simplex :* Witz, *Moteurs à gaz et à pétrole*, t. II, p. 613 ; Hubert, *Annales des Mines de Belgique*, t. II, février 1897 ; *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 3e série, t. XIV, 1900 ; *Communication au Congrès de Mécanique tenu à Liège* en juin 1905.

Digitized by Google

20 décembre 1895; pendant dix-huit mois, le moteur, développant une puissance de 4 chevaux effectifs, actionne quelques machines-outils, en fournissant un travail journalier d'environ seize heures.

Cette marche excellente permet de se rendre compte de ce qu'il convient de faire pour la réussite des gros moteurs. Une première modification du petit moteur le met en état de développer 8 chevaux au frein et, sous la direction de M. Delamare-Deboutteville, les ateliers de Seraing établissent en 1897 un moteur Simplex ayant $0^m,800$ de diamètre et 1 mètre de course; ce moteur développe 200 chevaux effectifs en tournant à 105 tours par minute.

Ce moteur est une copie perfectionnée du moteur de Pantin; il a fallu changer les

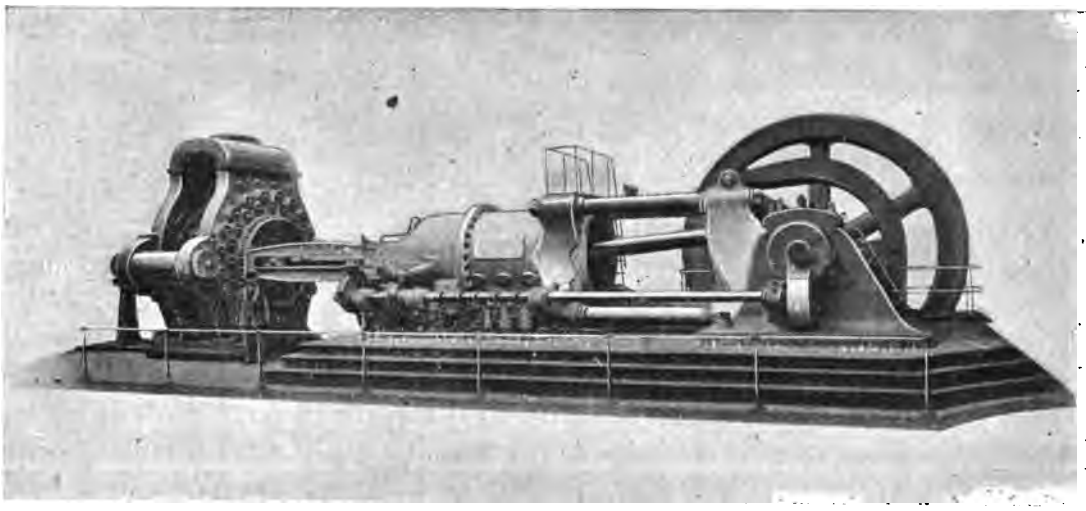


Fig. 152. — Moteur Cockerill de 600 chevaux à simple effet.

dimensions relatives des soupapes d'air et de gaz pour adapter le moteur à la pauvreté des gaz fournis par les hauts fourneaux et, de plus, prendre des précautions spéciales pour évacuer les poussières amenées par ces gaz dans le cylindre. Après quelques tâtonnements, les essais de juillet 1898 mettent en lumière les qualités du moteur et montrent la possibilité d'employer le gaz des hauts fourneaux pour son alimentation.

Encouragée par ce succès, la Société Cockerill établit, en 1899, un moteur monocylindrique de 600 chevaux, commandant directement une machine soufflante par le prolongement arrière de la tige du piston. Cette machine est exposée à Paris en 1900 dans la galerie du Champ de Mars : elle est représentée sur la figure 152. Les dimensions vraiment colossales de ce moteur sont les suivantes :

Diamètre du cylindre moteur	$1^m,300$
Course du piston	1 ,400
Diamètre de la tige du piston	0 ,244
Longueur de la bielle	4 ,600
Diamètre de l'arbre	0 ,460
Dimensions de l'espace total occupé par le moteur :	
Hauteur au-dessus du sol	4 ,000
Longueur	11 ,000
Largeur	6 ,000
Compression normale par centimètre carré	$9^{kg},500$
Diamètre du volant	$5^m,000$
Poids du volant	33 tonnes
Poids total de la machine (y compris le volant)	127 tonnes

Digitized by Google

TABLEAU XXVI

INSTALLATIONS DE MOTEURS COCKERILL A SIMPLE EFFET, DE 600 CHEVAUX PAR CYLINDRE

(Alimentation avec du gaz de haut fourneau)

CONSTRUCTEUR	TYPE	DESTINATION	LIEU DE L'INSTALLATION DU MOTEUR	DATE de la MISE EN MARCHE
Société Cockerill.	Monocylindrique (600 chevaux)	Soufflerie	Société Cockerill, à Seraing	novembre 1899
	id.	id.	Société Aumetz-la-Paix, à Knuttange	mai 1900
	id.	Service électrique	Usines de Differdange	août 1900
	id.	Soufflerie	id.	id.
	id.	id.	id.	id.
	id.	id.	id.	id.
	id.	Service électrique	Usines de Differdange	octobre 1900
	id.	Soufflerie	id.	janvier 1901
	id.	Service électrique	Aciéries du Rhin, à Ruhrort	mars 1901
	id.	id.	Usines de Differdange	juillet 1901
	id.	Soufflerie	Cochrace and C°, Middlesborough	novembre 1901
	id.	id.	Rœchling frères, Völklingen	janvier 1902
	id.	id.	id.	février 1902
	id.	id.	Société Ougrée-Marihaye, à Ougrée	id.
	id.	Service électrique	id.	id.
	id.	Soufflerie	Aachener Hüttenverein, à Esch	mai 1902
	id.	id.	id.	id.
	Tandem (1.200 chevaux)	id.	Société Cockerill, à Seraing	juin 1902
		id.	Rœchling frères, Carlshütte	novembre 1902
	Monocylindrique	id.	Société Ougrée-Marihaye, à Ougrée	février 1904
	Tandem	id.	Forges de la Marine, à Homécourt	mai 1904
Société alsacienne de constructions mécaniques à Mulhouse.	Monocylindrique	id.	de Wendel, usine de Moyeuvre	août 1903
	Tandem	Service électrique	id.	février 1903
Richardsons-Westgarth and C°, Middlesborough.	Monocylindrique	Soufflerie	Alf. Hickmann, Bilston	septembre 1903
	id.	id.	Summerlee and Mossend	octobre 1904
	id.	id.	Iron and Steel C°, Glasgow	id.
	id.	id.	Cargo Fleet Iron C°, Middlesborough	février 1905
	id.	id.	id.	id.
	id.	id.	id.	id.
Märkische Maschinenbau Anstalt, Wetter an der Ruhr.	id.	id.	Société minière d'Elba, Portoferraio	octobre 1902
	Tandem	id.	Rœchling frères, à Carlshütte	novembre 1902
	id.	id.	— à Völklingen	id.
	id.	id.	— à Carlshütte	février 1904
Société anonyme de constructions mécaniques (Ancienne maison Breitfeld - Danek und C°), Prague-Karolinenthal.	Monocylindrique	id.	Böhmische Montangesellschaft, Königshöf	juin 1901
	id.	id.	Usines de Differdange	juillet 1901
	id.	id.	Société minière d'Elba, Portoferraio	octobre 1902
	id.	id.	Böhmische Montangesellschaft, Königshöf	»
Schneider et Cie, le Creusot (*construit au Creusot*)	id.	id.	de Wendel et Cie, à Jœuf	octobre 1903
(construit par la Société alsacienne de Belfort)	id.	id.	id.	février 1903
	id.	id.	id.	id.
(construit par la Société française de constructions mécaniques).	id.	id.	Schneider et Cie, Usines de Cette	janvier 1904
	id.	id.	id.	»

Digitized by Google

Essayé au frein dynamométrique, le moteur développe une puissance variant de 560 à 670 chevaux. A la vitesse de 94 tours, avec 89 0/0 d'admission en moyenne, la puissance indiquée est de 786 chevaux, et la puissance utile de 575 chevaux. Le pouvoir calorifique supérieur moyen, mesuré au calorimètre Witz, est de $984^{cal},4$ par mètre cube à 0° et sous la pression normale, la dépense horaire de $2^{m3},556$ par cheval indiqué et de $3^{m3},495$ par cheval effectif.

En supprimant complètement les ratés, de manière à donner au moteur sa pleine charge, il développe, à la vitesse de 93 tours par minute, 826 chevaux indiqués et 670 chevaux effectifs. La consommation descend à $3^{m3},156$ par cheval effectif et par heure.

Grâce à son énorme volant, la marche de ce moteur est très régulière; le nombre de tours ne varie en effet que de 3 0/0 lorsqu'on supprime et qu'on rétablit la charge totale aussi rapidement que possible (1).

Ce remarquable moteur est reproduit à un grand nombre d'exemplaires par la Société Cockerill ou par ses concessionnaires. Le tableau XXVI (p. 237) donne divers renseignements sur les installations où fonctionnent ces moteurs.

Il nous montre qu'il y a actuellement en fonctionnement 41 de ces moteurs représentant une puissance de 27.000 chevaux et actionnant soit des souffleries, soit des dynamos (2).

11. **Moteur Otto à simple effet.** — Le type Cockerill monocylindrique de 600 chevaux est le plus puissant moteur à simple effet qui ait été construit jusqu'ici. La firme *Otto de Deutz*, qui, après Cockerill, s'engage dans la construction des moteurs à gaz de haut fourneau, ne croit pas devoir dépasser une puissance de 250 chevaux dans un cylindre; pour obtenir une puissance de 1.000 chevaux, elle préfère grouper autour d'un axe 4 cylindres, de manière à avoir deux courses motrices par tour de l'arbre (type de la figure 146).

Le tableau XXVII donne des renseignements sur quelques installations de moteurs Otto à simple effet fonctionnant au gaz de haut fourneau.

TABLEAU XXVII

MOTEURS OTTO A SIMPLE EFFET FONCTIONNANT AU GAZ DE HAUT FOURNEAU

(Installations faites par la Gasmotoren Fabrik Deutz)

LIEU DE L'INSTALLATION	NOMBRE de MACHINES	PUISSANCE en chevaux de chaque MACHINE	NOMBRE de CYLINDRES	DESTINATION
Oberschlesische Eisenbahn-Bedarfs-Aktien-Gesellschaft, à Friedenshütte	2	300	2	Transport de force
	2	200	2	
Gutehoffnungshütte à Oberhausen	1	600	4	
id.	2	300	2	
id.	4	500	2	
id.	1	1.000	4	
Société de Dudelange à Dudelange	2	600	4	
id.	2	1.000	4	
Hörderhüttenverein, à Hörde	2	1.000	4	
Rud. Böcking, à Halbergerhütte	2	350	2	
Société métallurgique, La Felguera	1	600	4	
— Dniéprovienne du Midi de la Russie, à Kamenjove	2	100	1	

(1) H. Hubert, *Sur quelques progrès des moteurs à gaz de haut fourneau* (*Revue nniverselle des Mines*, t. LIX, septembre 1902).

(2) Nous devons tous les renseignements concernant les moteurs Cockerill à M. Bailly, ingénieur à la Société Cockerill, dont les travaux ont tant contribué à leur perfectionnement; nous sommes heureux de le remercier ici de l'amabilité avec laquelle il nous a montré tous les détails du fonctionnement de ces moteurs.

Digitized by Google

12. Introduction du double effet dans les moteurs de grande puissance. — La réalisation des machines de grande puissance avec le moteur à gaz à simple effet conduit rapidement à la construction de cylindres de grand diamètre que l'on est obligé de grouper, si l'on veut atteindre des puissances supérieures à 1.200 chevaux. De là l'idée de doubler la puissance de chaque cylindre en le construisant à *double effet*. Ce mode de fonctionnement permet, de plus, d'avoir une course motrice par tour avec un seul cylindre ou deux courses motrices par tour avec deux cylindres en tandem ou jumelés.

13. Moteur Letombe à double effet et à triple effet. — Le premier qui soit revenu au double effet, complètement tombé en discrédit par suite des difficultés que présentaient la construction du presse-étoupes et le graissage, est *M. Letombe*, qui réalise un moteur *à admission variable et surcompression d'un mélange tonnant de richesse variable ;* cet ingénieur augmente le volume de l'admission lorsque la vitesse diminue, mais en même temps il diminue la proportion de gaz combustible existant dans le mélange, de telle façon que la pression après l'explosion ne soit pas supérieure à la pression pour laquelle la résistance des pièces a été calculée. En outre, dans ce moteur, la détente est assez prolongée pour que les gaz sortent assez froids, ce qui a certainement facilité à M. Letombe l'emploi du double effet[1].

Cet allongement de la détente conduit à augmenter la longueur du moteur ; aussi, en abordant les moteurs de grande puissance, M. Letombe eût-il été amené à développer outre mesure ses moteurs en longueur, s'il n'en était pas venu au *triple effet*. Il a été conduit à son type actuel en remplaçant la glissière des anciens moteurs par un cylindre et un piston à simple effet placé en avant du piston à double effet. Sur la figure 153, le cylindre de droite est à simple effet et le cylindre de gauche à double effet. On obtient ainsi *trois impulsions motrices sur quatre courses du piston*, au grand avantage de la régularité de la marche. Comme ces trois effets sont indépendants, on peut les supprimer à volonté et le même moteur fournit successivement, et suivant le besoin, une, deux ou trois impulsions par tour de l'arbre.

Il en résulte une certaine facilité pour l'emploi des gaz chargés de poussière et notamment pour les gaz des hauts fourneaux. On peut, en pleine charge, supprimer un effet et nettoyer ou changer tous les organes qui le desservent. Il n'y a qu'une soupape à gaz à enlever et un levier à manœuvrer pour provoquer une aspiration et un refoulement d'air très énergiquess, qui balaient, hors du cylindre toutes les impuretés qui auraient pu s'y accumuler.

14. Les moteurs à double effet à grande puissance. Moteurs Cockerill, Otto, de la Société de Nüremberg. — Le double effet est aujourd'hui employé par tous les constructeurs pour toutes les puissances des moteurs fonctionnant au gaz pauvre. C'est ainsi que la *Société Cockerill* construit couramment des moteurs monocylindriques à double effet donnant 1.400 à 1.500 chevaux effectifs en tournant à 80 ou 85 tours par minute ; le cylindre de ces moteurs a $1^m,30$ de diamètre et $1^m,40$ de course : en groupant deux de ces cylindres en tandem, on peut développer 3.000 chevaux en ayant deux courses motrices par tour ; en jumelant deux de ces groupes de cylindres, on peut réaliser une puissance de 6.000 chevaux.

Les figures 154, 155, 156 et 157 représentent des moteurs à double effet construits par la Société Cockerill : moteur tandem à double effet de 500 chevaux (*fig.* 154) ; moteur ju-

[1] Voir, pour la théorie du mode de régulation Letombe, L. Marchis, *les Moteurs à gaz et à pétrole*, p. 64 (Paris, Gauthier-Villars, 1901).

Digitized by Google

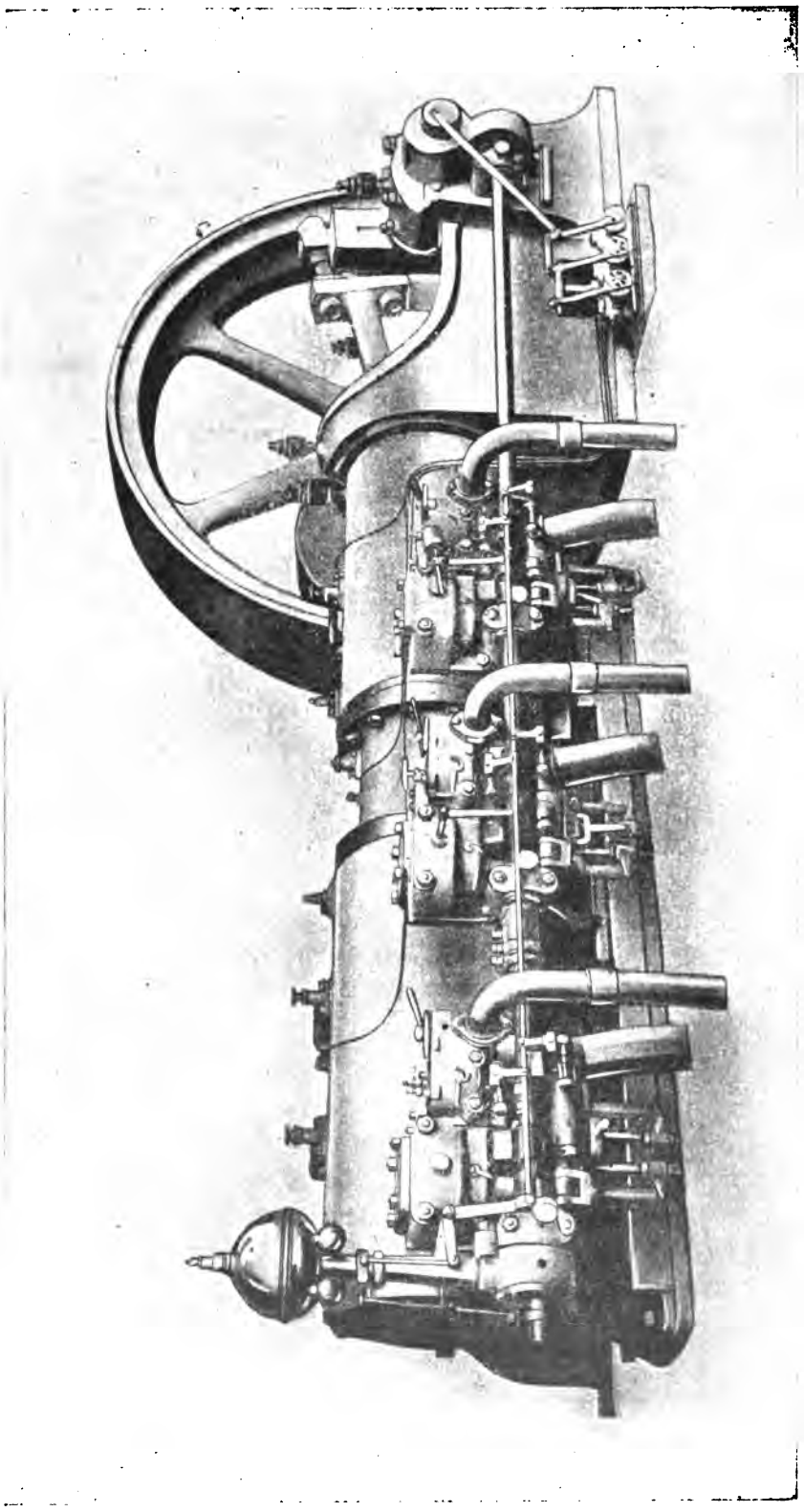


Fig. 153. — Moteur Letombe à triple effet.

Digitized by Google

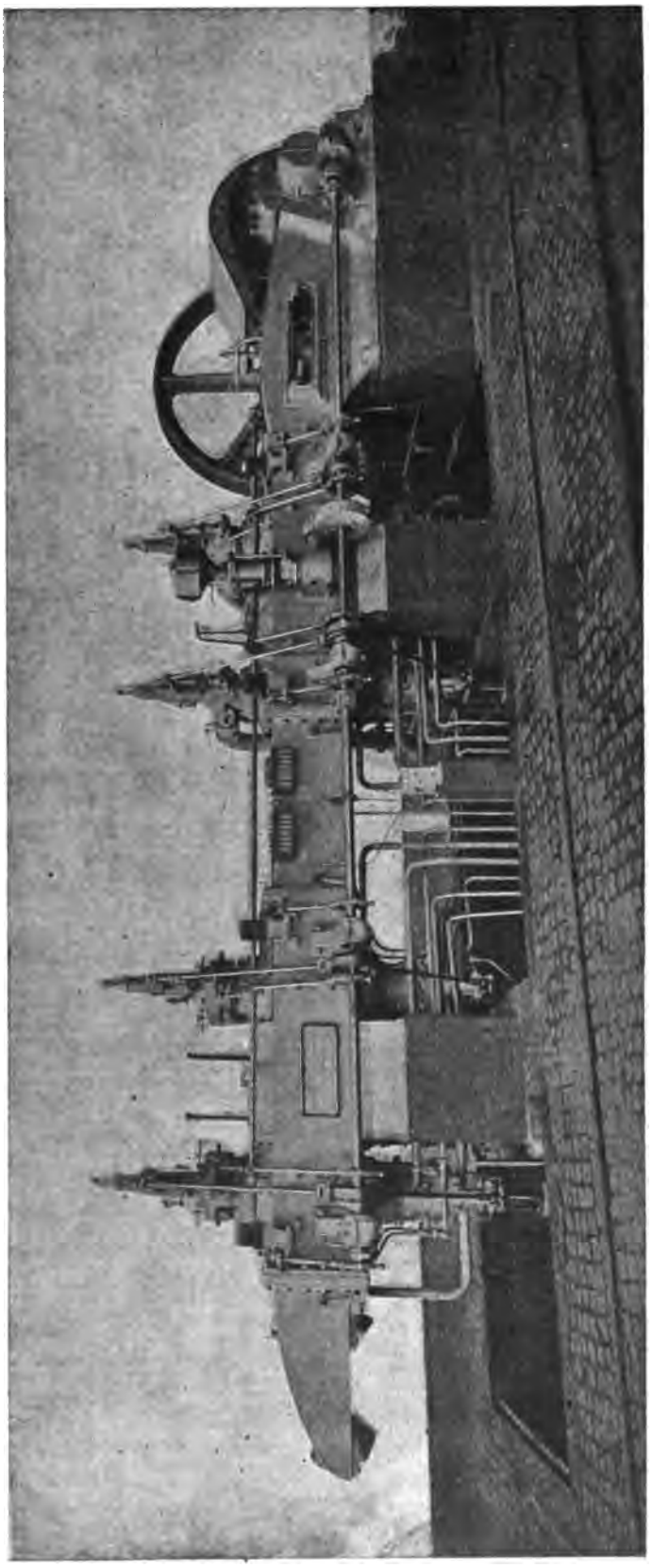


Fig. 154. — Moteur Cockerill tandem à double effet de 500 chevaux.

Digitized by Google

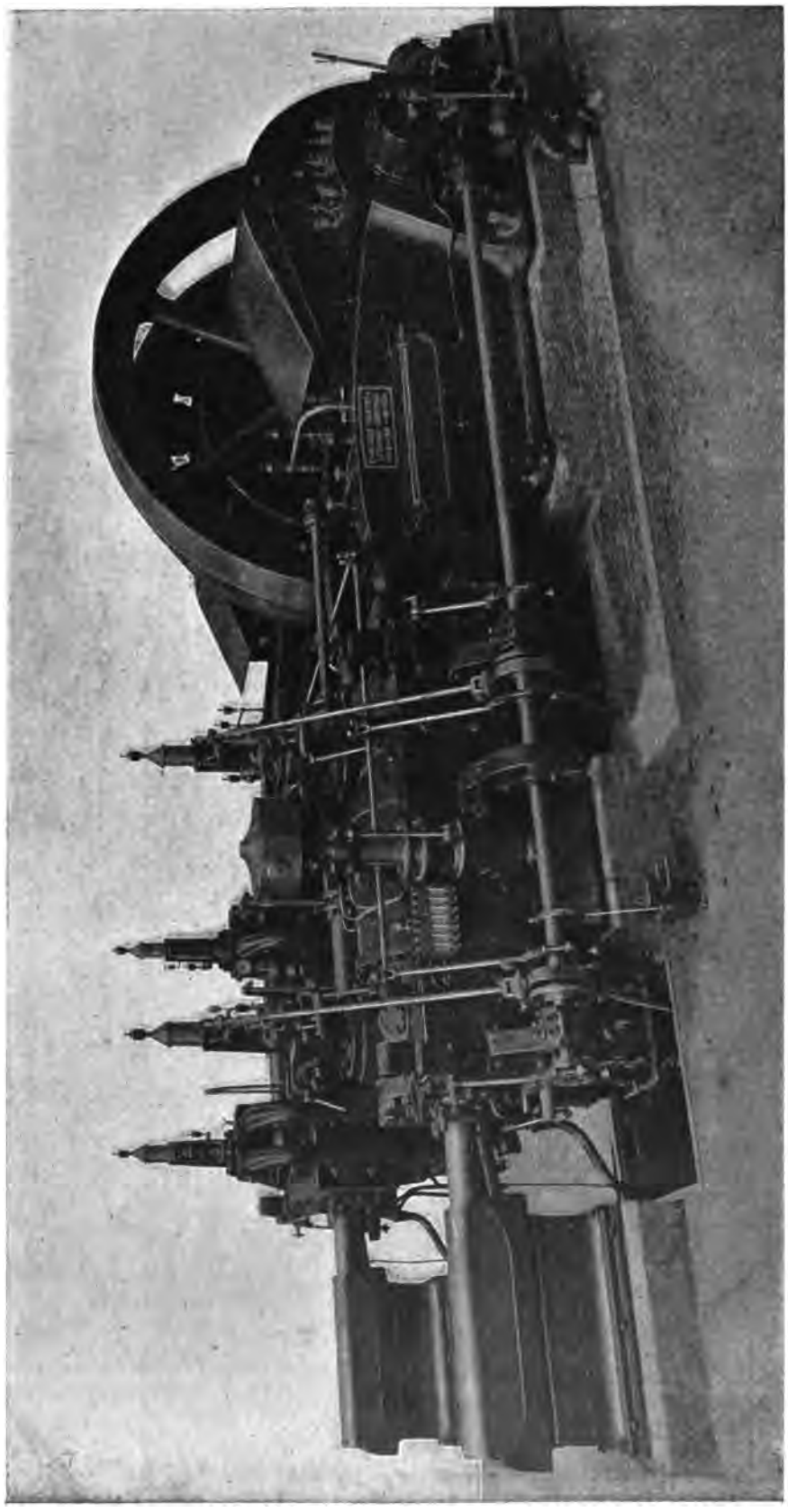


Fig. 155. — Moteur Cockerill jumelé à double effet de 500 chevaux.

Digitized by Google

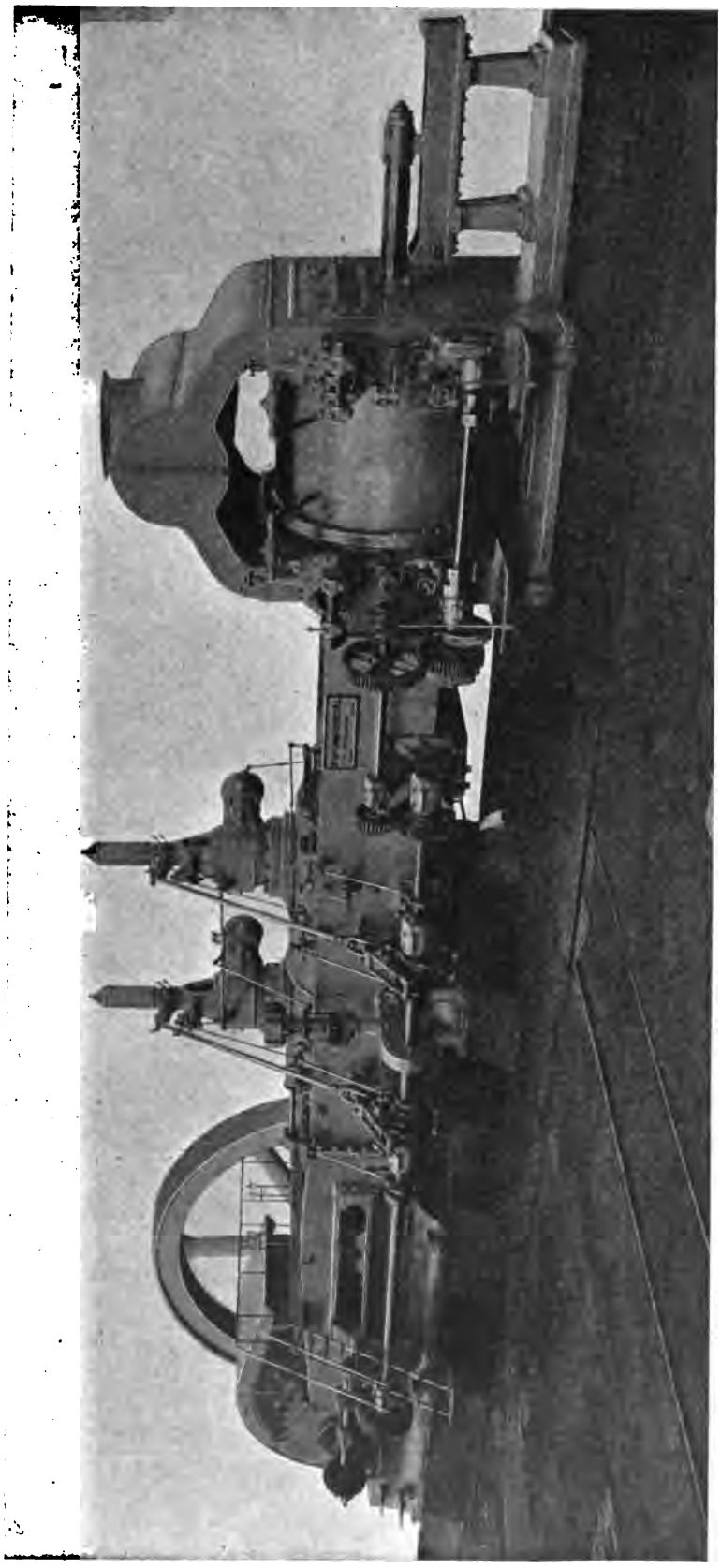


FIG. 156. — Moteur Cockerill tandem à double effet de 1.200 à 1.500 chevaux.

Digitized by Google

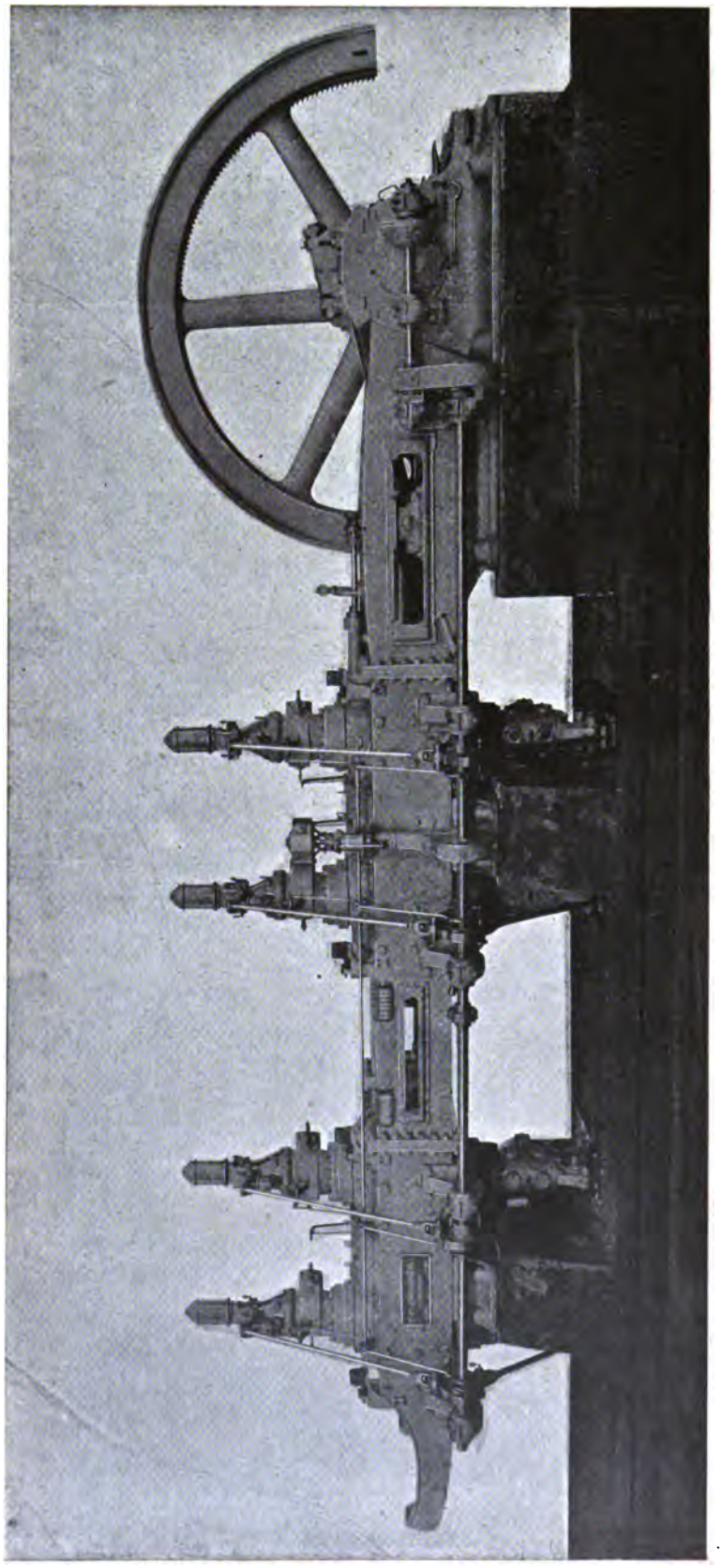


Fig. 157. — Moteur Cockerill tandem à double effet de 1.200 à 1.500 chevaux.

Digitized by Google

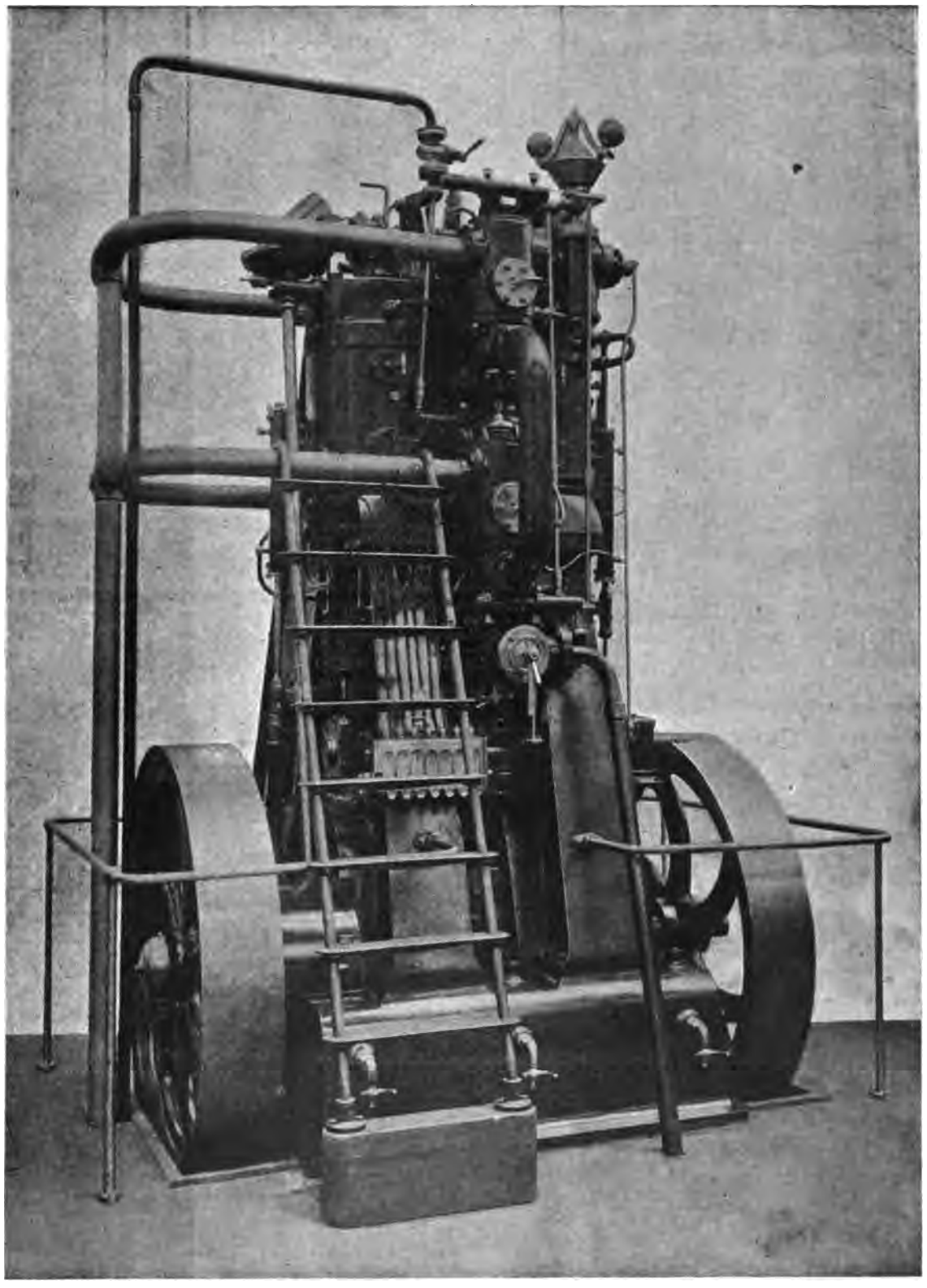


Fig. 158. — Moteur Cockerill vertical, double effet, jumelé, de 120 chevaux

Digitized by Google

melé (deux cylindres) à double effet de 500 chevaux (*fig.* 155); moteur tandem à double effet de 1.200 à 1.500 chevaux (*fig.* 156 et 157). Toutes ces machines sont horizontales; mais

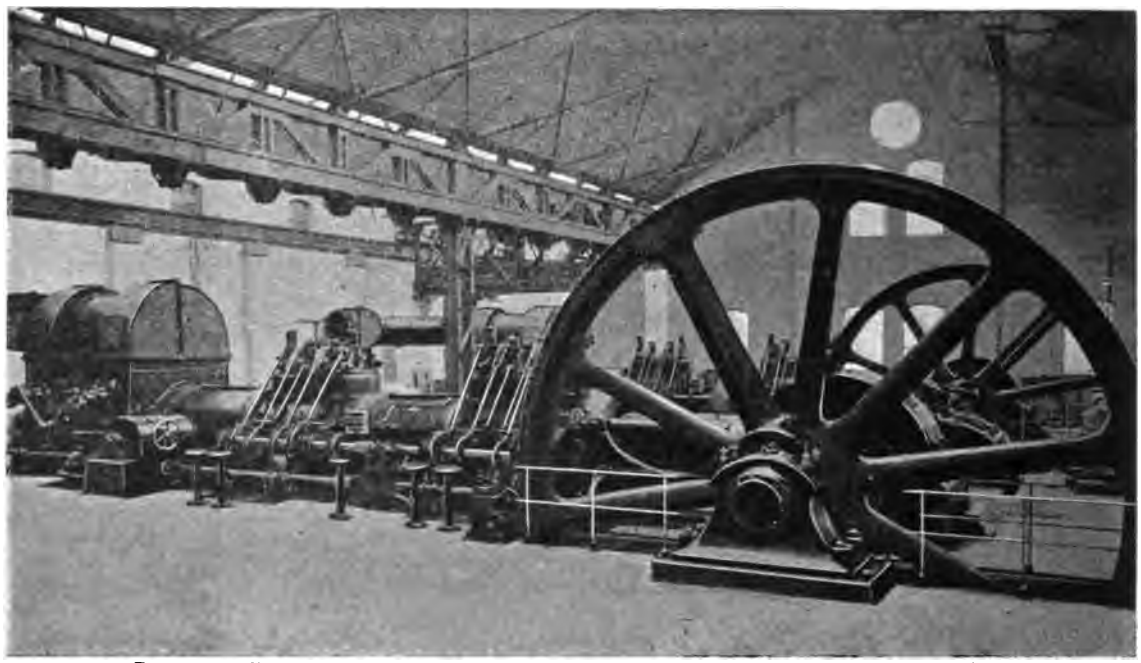


Fig. 159. — Usines métallurgiques de Rombach (Lorraine). Machines soufflantes accouplées à des moteurs à gaz de 950 chevaux; vitesse : 80 tours.

la Société Cockerill construit aussi maintenant des machines verticales : la figure 158 représente un moteur vertical double effet jumelé de 120 chevaux.

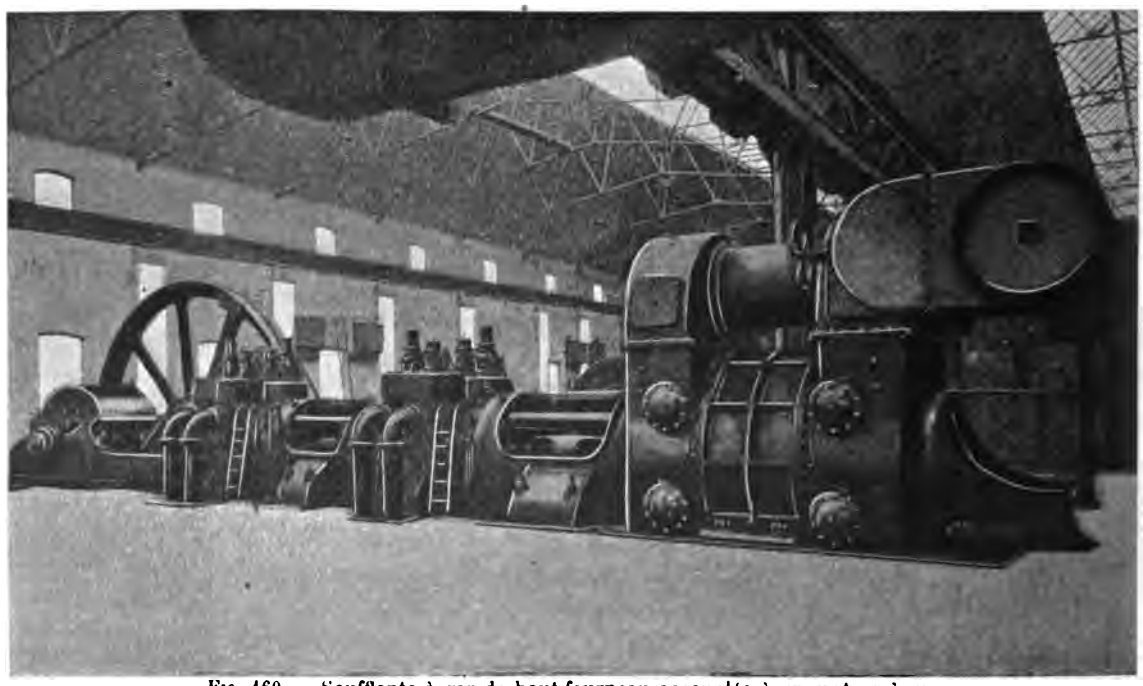


Fig. 160. — Soufflante à gaz de haut fourneau accouplée à un moteur à gaz de la Société de Nüremberg (Usines de Rombach).

La *Société de Nüremberg* établit des machines à deux cylindres à double effet en tandem de 2.000 chevaux et des machines à quatre cylindres groupés deux à deux en tandem dont

Digitized by Google

les puissances vont jusqu'à 3.200, 3.600 et 4.000 chevaux. On conçoit qu'en jumelant ainsi deux groupes de cylindres en tandem, il est possible d'arriver à obtenir des machines d'une régularité parfaite qui permet de leur accoupler des alternateurs ou des génératrices polyphasées.

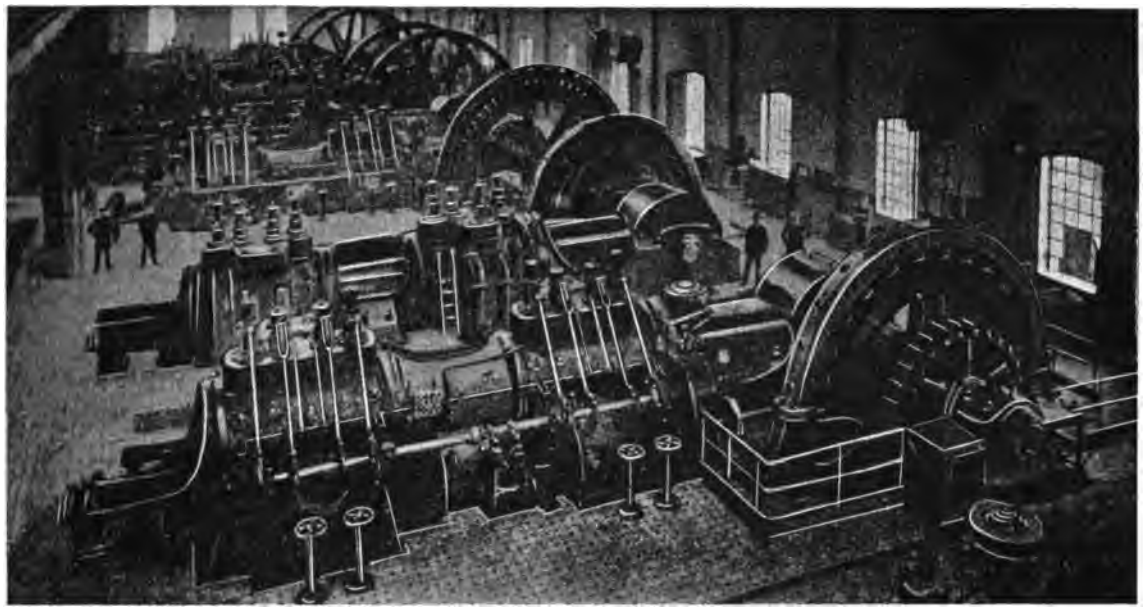


Fig. 161. — Salle des moteurs à gaz des usines de Rombach.

Les figures 159, 160, 161, 162, 163 et 164 représentent des installations de moteurs de Nüremberg faites, l'une aux *usines métallurgiques* de *Rombach* (*Lorraine*) (*fig.* 159, 160 et 161) (puissance de chaque moteur = 950 chevaux en deux cylindres tandem à double effet),

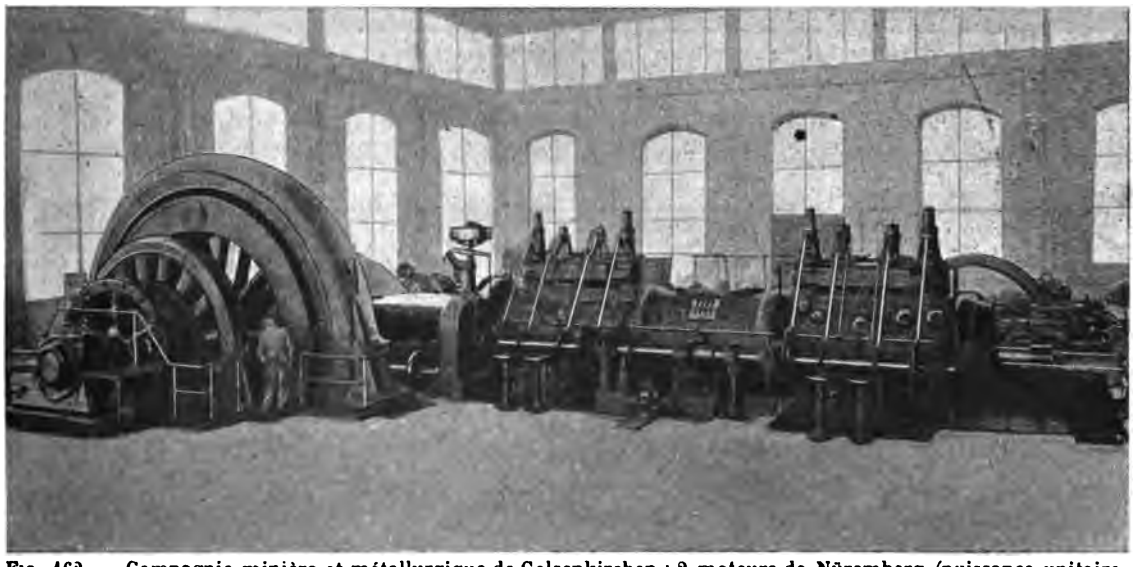


Fig. 162. — Compagnie minière et métallurgique de Gelsenkirchen : 2 moteurs de Nüremberg (puissance unitaire, 1.500 à 1.800 chevaux; vitesse, 94 tours), actionnant chacun une dynamo à courant continu et un alternateur.

la deuxième à la *Compagnie minière et métallurgique de Schalke-Gelsenkirchen* (*fig.* 162 et 163) (puissance de chaque moteur = 1.500 à 1.800 chevaux en deux cylindres tandem à double effet), la troisième (*fig.* 164) à la Mine *Consolidation* (puissance de chaque moteur = 700 chevaux en deux cylindres tandem à double effet).

Digitized by Google

La figure 165 représente un moteur de 2.000 chevaux (2 cylindres double effet en tandem) construit par la *Gasmotoren Fabrik Deutz* pour la *Société des Usines métallurgiques et des Mines de Hörde* (Hörder Bergwerks- und Hüttenverein).

Fig. 163. — Compagnie minière et métallurgique de Schalke-Gelsenkirchen : 2 moteurs de Nüremberg (puissance unitaire, 1.500 à 1.800 chevaux; vitesse, 94 tours), actionnant chacun une dynamo à courant continu et un alternateur.

Enfin la figure 166 montre un moteur à gaz de 900 chevaux construit par la Société *Haniel et Lueg* et actionnant une dynamo de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft*.

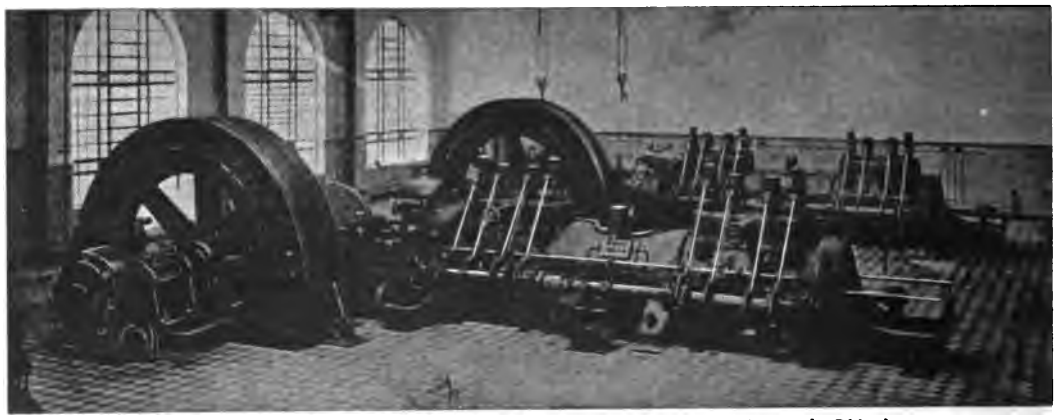


Fig. 164. — Alternateur (5.000 volts) commandé par un moteur à gaz de 700 chevaux [mine Consolidation III-IV (Société de Nüremberg et A. E. G.)].

Il convient de remarquer que, *comme aspect extérieur, toutes ces machines ressemblent aux machines à vapeur à soupapes ; les tiges de piston sont guidées à l'avant et à l'arrière ; elles sont creuses et servent à faire circuler dans le piston de l'eau sous une pression de 3 à 4 ki-*

Digitized by Google

logrammes. La Société Cockerill est encore ici celle qui atteint par cylindre la plus grande puissance; les moteurs de Nüremberg et d'Otto ne dépassent pas 1.000 chevaux effectifs par

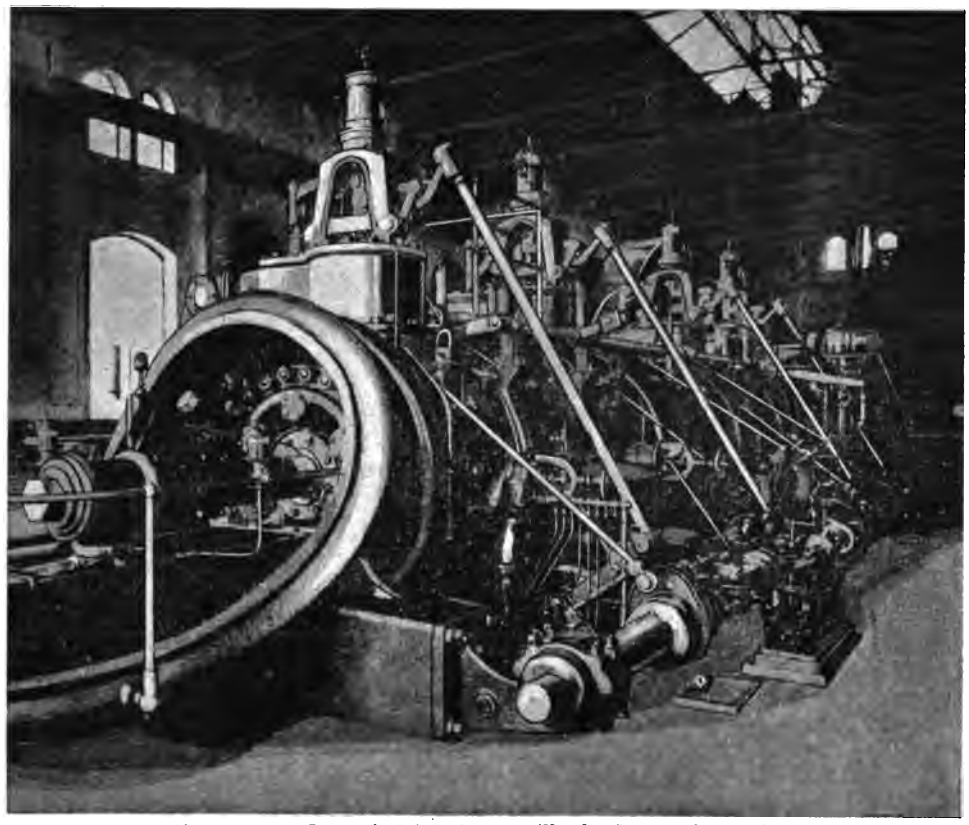


Fig. 165. — Moteur à gaz Deutz de 2.000 chevaux (Hörder Bergwerks- und Hüttenverein).

cylindre, tandis que le moteur Cockerill est construit jusqu'à 1.500 chevaux effectifs par cylindre.

D'autres firmes que celles dont nous venons de parler construisent des moteurs à gaz

Fig. 166. — Dynamo à courants alternatifs (5.000 volts) commandée par un moteur à gaz de 900 chevaux [mine Shamrock III/IV (Haniel et Lueg et A. E. G.)].

de hauts fourneaux et de fours à coke ; on en trouvera la nomenclature dans les tableaux XX, XXIII et XXIV, qui montrent quel développement a pris cette industrie en Allemagne.

Le tableau XXVIII donne les caractéristiques de quelques installations.

Digitized by Google

TABLEAU XXVII

INSTALLATION DE MOTEURS A GAZ A DOUBLE EFFET DE 1.000 CHEVAUX ET AU-DESSUS

DATE DE LA MISE EN MARCHE	USINE DANS LAQUELLE EST INSTALLÉ LE MOTEUR	LOCALITÉ DANS LAQUELLE SE TROUVE L'USINE	CONSTRUCTEUR	NOMBRE DE MACHINES	TYPE	PUISSANCE DE CHAQUE MACHINE en chevaux effectifs	PUISSANCE TOTALE DES MACHINES FOURNIES en chevaux effectifs	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	NATURE DU GAZ EMPLOYÉ pour l'alimentation	DESTINATION
	I. — TYPE DE LA SOCIÉTÉ DE NÜREMBERG									
	Constructeurs : M. A. N., Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau Gesellschaft Nürnberg ; H. L., Haniel et Lueg, Maschinenfabrik, Eisen und Stahlwerk, Düsseldorf ; S. P., Skodawerke A.-G. in Pilsen ; Fr.-W.-H., Aktiengesellschaft Bergwerksverein, Friedrich-Wilhelmshütte (Mülheim sur la Ruhr).									
1903	Société anonyme des aciéries de Micheville	Micheville	M. A. N.	2	DZ	1.100	2.200	100	H	C
1903	Burbacher Hütte	Burbach (près de Saarbrück)	id.	1	DT	1.500	1.500	90	id.	Train de laminoirs
1903	Phönix A.-G. für Bergbau und Hüttenbetrieb	Laar (près de Ruhrort)	id.	3	id.	1.000	3.000	100	id.	A.
1904	Krupp, Essen	Rheinhausen	id.	2	id.	1.200	2.400	100	id.	C.
1904	id.	id.	id.	2	DZ	1.600	3.200	80	id.	S.
1904	Rombacher Hüttenwerke	Rombach (Lorraine)	id.	2	DT	1.200	2.400	110	id.	C.
1904	id.	id.	id.	1	DTZ	2.700	2.700	90	id.	Aciérie
1904	Sociedad de Gasificacion industrial	Madrid	id.	6	DT	2.000	12.000	94	G_r (gaz bas)	A.
1904	Eschweiler Bergwerksverein, Eschweiler Pumpe	Alsdorf (province du Rhin)	id.	2	id.	1.100	2 200	100	K et G_z	id.
1904	Schalker Gruben- und Hüttenverein	Gelsenkirchen	id.	2	id.	1.800	3.600	94	H	C. et A.
1904	Rheinische Stahlwerke	Meiderich (près de Ruhrort)	id.	1	DTZ	3.200	3.200	80	id.	S.
1904	Röchlingsche Eisen und Stahlwerke	Völklingen (sur la Saar)	id.	1	id.	id.	id.	id.	id.	id.
1904	Rombacher Hüttenwerke	Rombach (Lorraine)	id.	1	DT	1.200	1.200	107	id.	A.
1904	Böhmische Montangesellschaft	Königshof (Bohême)	S. P.	2	id.	1.200	2.400	100	id.	Train de laminoirs
1905	Schalker Gruben- und Hüttenverein	Gelsenkirchen	H. L.	1	DTZ	3.600	3.600	94	id.	A.
1903	Steinkohlenbergwerk Rheinpreussen	Homberg (sur le Rhin)	id.	1	DT	1.500	1.500	id.	K	id.
1903	Oberschlesische Eisenbahnbedarfs A.-G.	Friedenshütte (près de Morgenroth)	M. A. N.	1	id.	id.	id.	id.	H	id.
1905	Burbacher Hütte	Burbach (près de Saarbrück)	id.	1	id.	1.200	1.200	100	K	C.
1905	Stumm frères	Neunkirchen	id.	1	id.	1.000	1.000	110	id.	id.
1903	Rombacher Hüttenwerke	Rombach (Lorraine)	id.	1	id.	1.200	1.200	107	H	A.
1903	id.	id.	H. L.	1	id.	id.	id.	id.	id.	id.
1903	Moselhütte A.-G.	Maizières (près de Metz)	M. A. N.	1	id.	id.	id.	id.	id.	id.
1905	Wendel et Cie	Jœuf	id.	2	id.	id.	2.400	id.	id.	C.
1906	Fried. Krupp A.-G., Essen	Rheinhausen	M. A. N.	2	DZ	1.600	3.200	80	id.	S.
1906	Hasper Eisen und Stahlwerke	Haspe	H. L. et M. A. N.	8	DT	1.500 (6 machines) 1.230 (2 machines)	11.500	107 75	H et G_z	A. S.
1906	Aciéries de Micheville	Micheville	id.	2	id.	1.500	3.000	100	H	C.
1906	Gewerkschaft Deutscher Kaiser	Brückhausen (Rhein)	id.	1	id.	1.600	1.600	80	id.	S.
1906	Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein	Georgmarienhütte (près d'Osnabrück)	id.	1	id.	1.200	1.200	110	id.	C.
1906	Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein	id.	Fr.-W.-H.	1	id.	1.200	1.200	110	id.	id.

Digitized by Google

1906	Gewerkschaft Minister Achenbach	Puits Ministre-Achenbach, Brambauer	H. L.	1	id.	1.000	1.000	107	K	id.
1906	Skodawerke A.-G.	Pilsen	S. P.	2	DZ	1.250	2.500	80	H	A.
1906	A.-G. Schalker Gruben- und Hüttenverein	Gelsenkirchen	H. L.	1	DTZ	3.600	3.600	94	id.	A.
1906	Niederrheinische Hütte	Duisburg	id.	1	DT	1.500	1.500	94	id.	C.
1906	Rheinische Stahlwerke	Meiderich (près de Ruhrort)	M. A. N.	2	DTZ	3.200	6.400	80	id.	S.
1906	The Electrical Company Ltd., London	South Wales	id.	1	DT	1.200	1.200	100	K	A.
1906	Eschweiler Bergwerksverein, Eschweiler Pumpe	Alsdorf (province du Rhin)	id.	2	DTZ	2.400	4.800	100	id.	id.
1906	Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hütten A.-G.	Differdingen (Luxembourg)	id.	2	DT	1.950	3.900	94	H	id.
1906	Oberschlesische Eisenbahnbedarfs A.-G.	Friedenshütte (près de Morgenroth)	id.	1	id.	1.200	1.200	85	id.	S.
1906	Prager Eisen-Industrie-Gesellschaft, Wien	Eisenwerk Kladno	S. P.	1	DZ	1.250	1.250	80	id.	id.
1906	Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hütten A.-G.	Differdingen (Luxembourg)	M. A. N.	1	DT	1.950	1.950	94	id.	A.
1906	Henschel und Sohn, Cassel	Henrichshütte (près Hattingen-Ruhr)	Fr.-W.-H.	1	id.	1.500	1.500	100	id.	C.
1906	Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein	Georgmarienhütte (près d'Osnabrück)	id.	1	id.	1.200	1.200	110	id.	id.
1906	Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein	id.	M. A. N.	2	id.	1.200	2.400	110	id.	id.
1906	Lothringer Hüttenverein Aumetz-Friede.	Kneuttingen (Lorraine)	id.	1	id.	1.500	1.500	94	id.	id.
	II. — TYPE OTTO									
»	Oberschlesische Eisenbahn bedarfs A.-G	Friedenshütte (près de Morgenroth)	Otto-Deutz	1	DZ	1.400	1.400	»	H	A.
»	Eisen-und Stahlwerk Hœsch	Dortmund	id.	1	id.	1.200	1.200	»	id.	C.
»	Hörder Bergwerks-und Hüttenverein	Hörde (en Westphalie)	id.	1	DT	2.000	2.000	»	id.	A.
»	Stumm	Neunkirchen	Ehrhardt et Sehmer Schleifmühle	1	id.	1.000	1.000	»	id.	S.
»	Burbacher Hütte	Burbach		1	DZ	1.300	1.300	»	id.	id.
»	Dillinger Hüttenwerke A.-G.	Dillingen (sur la Saar)		1	DT	1.500	1.500	»	id.	C.
»	Société d'Ougrée-Marihaye	Ougrée		1	id.	1.500	id.	»	id.	Train de laminoirs
»	Nierderrheinische Hütte	Duisburg		1	id.	1.000	1.000	»	id.	S.
»	Eisen- und Stahlwerk Hœsch	Dortmund		2	DZ	1.000	2.000	»	id.	C.
	III. — TYPE COCKERILL									
1903	Société Cockerill	Seraing	Usine Cockerill	1	D_{14}	1.200	1.200	80 à 90	H	S.
1903	Société d'Ougrée-Marihaye	Ougrée		1	DT_{11}	id.	id.	100	id.	Serv. Elec.
1904	Société Cockerill	Seraing		1	id.	id.	id.	100	id.	id.
1904	id.	id.		1	D_{14}	id.	id.	80 à 90	id.	id.
1905	Krupp, Essen	Rheinhausen	Société alsacienne à Mulhouse	1	DZ	1.800	1.800	»	id.	S.
1905	Société minière d'Elba	Portoferraio	Usine Cockerill	1	D_{14}	1.500	1.500	80 à 90	id.	id.
1905	Forges de la Marine	Homécourt		1	id.	1.200	1.200	id.	id.	id.
1905	Société d'Ougrée-Marihaye	Ougrée		1	DT_{11}	1.200	1.200	100	id.	Serv. Elec.

ABRÉVIATIONS

Nature du gaz employé pour l'alimentation : H, gaz de haut fourneau ; K, gaz de four à coke : G_s, gaz de gazogène soufflé (chargé au coke ou à l'anthracite) ; G_r, gaz de gazogène soufflé (chargé au lignite, etc.).

Destination : C, commande de dynamo à courant continu ; A, commande de dynamo à courant alternatif ; S, soufflerie de haut fourneau.

Type : D, 1 seul cylindre ; DT, 2 cylindres tandem ; DZ, 2 cylindres jumelés ; DTZ, 4 cylindres 2 à 2 tandem.

NOTA. — Le type Cockerill D_{14} a 1.300 millimètres de diamètre et 1.400 millimètres de course ; le type Cockerill DT_{11} a 1.000 millimètres de diamètre et 1.100 millimètres de course.

Digitized by Google

15. Le moteur à gaz de grande puissance à deux temps. — Moteur Œchelhäuser. — Moteur Kœrting. — Le moteur à deux temps, à peu près abandonné au moment de l'Exposition de Paris en 1900, reparaît à l'Exposition de Düsseldorf (1902), appliqué aux grandes puissances. Depuis cette époque, ce type de moteur ne cesse de se développer et de faire concurrence aux moteurs à quatre temps. Les moteurs à deux temps employés en métallurgie appartiennent à deux types :

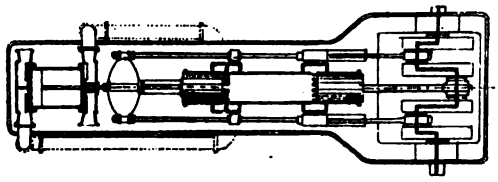


Fig. 167. — Schéma d'un moteur Œchelhäuser (une course motrice par tour de l'arbre).

1° Le type Œchelhäuser à simple effet ;
2° Le type Kœrting à double effet.

Le moteur Œchelhäuser est caractérisé par l'emploi de deux pistons opposés P_1 et P_2 marchant en sens contraire dans un seul cylindre (*fig.* 167 et 168). On construit des machines

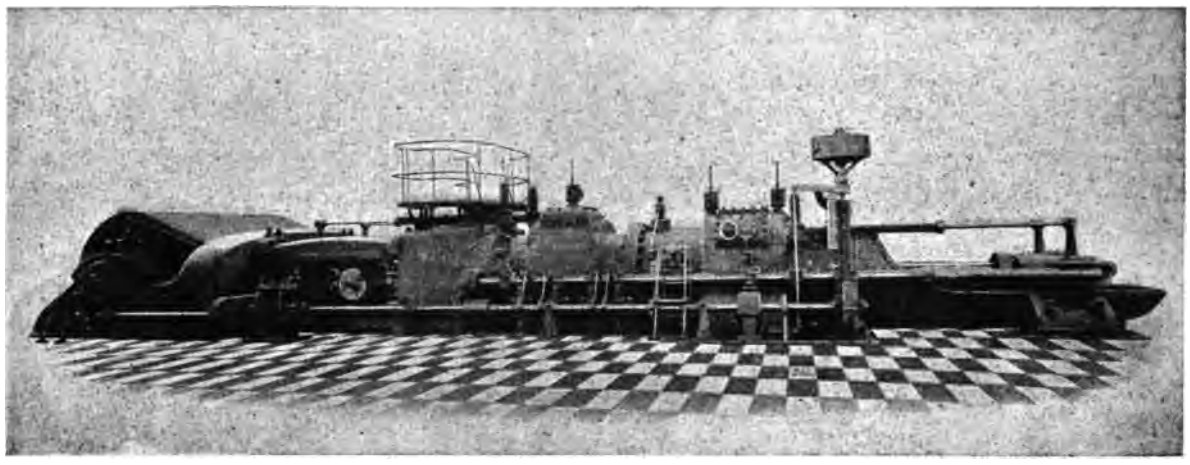


Fig. 168. — Ensemble d'un moteur Œchelhäuser construit par la Société Borsig de Berlin-Tegel.

à un cylindre ayant une course motrice par tour de l'arbre et des machines à deux cylindres ayant deux courses motrices par tour de l'arbre (*fig.* 169).

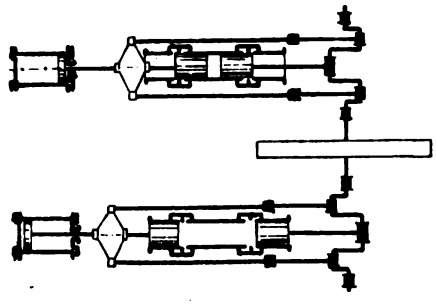


Fig. 169. — Moteurs Œchelhäuser jumelés (deux courses motrices par tour de l'arbre).

Le moteur Kœrting est du type classique du moteur à deux temps dont nous avons donné plus haut le principe (*fig.* 151) : il est à double effet et présente une pompe à air et une pompe à gaz (*fig.* 170 et 171).

Le tableau XXIX donne les caractéristiques de quelques installations de ces moteurs à deux temps.

Digitized by Google

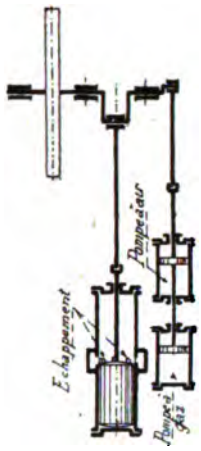


FIG. 170. — Schéma d'un moteur Kœrting.

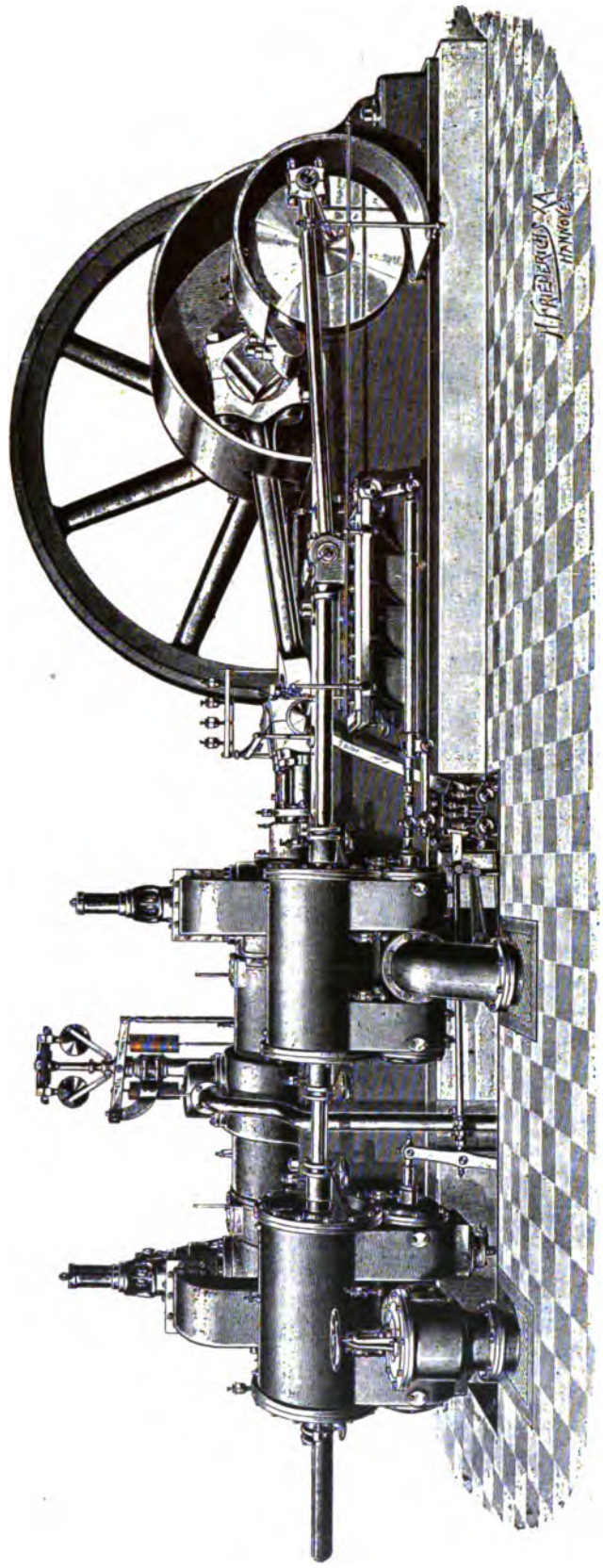


FIG. 171. — Ensemble d'un moteur Kœrting.

Digitized by Google

TABLEAU XXIX

INSTALLATIONS DE QUELQUES MOTEURS A DEUX TEMPS AYANT UNE PUISSANCE ÉGALE OU SUPÉRIEURE A 1.000 CHEV. ET ALIMENTÉS AU GAZ DE HAUT FOURNEAU

USINE DANS LAQUELLE LE MOTEUR EST INSTALLÉ	LOCALITÉ OU SE TROUVE L'USINE	CONSTRUCTEUR	NOMBRE DE MACHINES	NOMBRE DE CYLINDRES	PUISSANCE DE CHAQUE MACHINE en chevaux effectifs	PUISSANCE TOTALE DES MACHINES FOURNIES en chevaux effectifs	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	DESTINATION
I. — TYPE ŒCHELHÄUSER								
Ilseder Hütte	Gross-Ilsede (près Peine)	Ascherslebener Maschinenbau A.-G., à Aschersleben	1	2	1.000	1.000	»	Dynamo
id.	id.	Borsig, Berlin-Tegel	1	2	1.000	1.000	»	id.
Oesterreichische Alpine Montan-Gesellschaft	Vienne	Maschinenfabrik Andritz A.-G., à Andritz-Vienne	1	2	1.000	1.000	»	id.
Central-Direktion der Königlischen Ungarischen Eisenwerke	Vayda-Hunyad (Hongrie)	Maschinenfabrik Lang, Budapest	1	2	1.000	1.000	»	Soufflerie
Usines de Differdange	Differdange	Ascherslebener Maschinenbau A.-G., à Aschersleben	1	2	1.000	1.000	»	Laminoirs
Phönix	Laar (près Ruhrort)	id.	1	2	1.500	1.500	»	Soufflerie
Krupp (Essen). Usines de Rheinhausen	Rheinhausen	Borsig, Berlin-Tegel	1	2	1.000	1.000	»	Dynamo
The Parkhead Iron and Steel C° L^d	Rotterdam	William Breadmore and C°, Glasgow	1	2	1.000	1.000	»	id.
Siemens Schuckert Werke pour la Mansfelder Kupferschiefer bauende Gewerkschaft	Mansfeld	Borsig, Berlin-Tegel	2	2	1.000	2.000	»	id.
Ilseder Hütte	Gross-Ilsede (près Peine)	Ascherslebener Maschinenbau A.-G.	2	2	1.600	3.200	»	id.
Union Dortmund	Dortmund	id.	1	2	2.000	2.000	»	Soufflerie
The Municipality of Johannesburg	Johannesburg	William Breadmore	5	2	2.000	10.000	»	Dynamo
id.	id.	id.	3	2	1.000	3.000	»	id
Steinkohlenbergwerk, Rheinpreussen	Hambourg	Borsig, Berlin-Tegel	1	2	1.500	1.500	»	id.
II. — TYPE KŒRTING								
Niederrheinische Hütte	Duisburg Hochfeld	»	1	1	1.000	1.000	80	Dynamo
Donnersmarckhütte, A.-G.	Zaprze	»	2	2	1.000	2.000	100	id.
Bochumer Verein für Bergbau.	Bochum	»	1	2	1.400	1.400	90	Soufflerie
Gutehoffnungshütte	Oberhausen Rheinland	»	6	1	1.000	6.000	90	Dynamo
id.	id.	»	1	2	1.000	1.000	100	Soufflerie
id.	id.	»	1	2	1.400	1.400	95	id.
De La Vergne Refrigerating Machine C°	New-York	»	8	2	1.000	8.000	»	Dynamo
id.	id.	»	16	2	2.000	32.000	»	Soufflerie
Fried. Krupp, Essen	Essen	»	2	2	1.600	3.200	80	id.
Bogoslawsker Hüttenverwaltung	Bogoslawk (Russie)	»	1	1	1.000	1.000	90	Laminoir
Usine de Dudelange	Dudelange (Luxembourg)	»	1	2	1.000	1.000	100	Soufflerie
Union	Dortmund	»	1	2	1.000	1.000	85	id.
Société métallurgique russo-belge	Enakiewo (Russie)	»	1	2	1.350	1.350	100	id.

Digitized by Google

II

LES MOTEURS A QUATRE TEMPS

Nous avons défini dans le paragraphe précédent les modes de groupement des moteurs à gaz.

Nous allons maintenant étudier les divers modes de construction des moteurs à quatre temps à grande puissance en prenant comme exemples les principaux moteurs employés actuellement en sidérurgie. Nous ne considérons ici que les *moteurs horizontaux à double effet*.

1. **Bâti. — Bâti à longerons de la Société Cockerill.** — Le bâti du moteur *Cockerill* à double effet (*fig.* 172) est caractérisé par l'établissement de deux *longerons en fonte* entre lesquels les cylindres sont attachés par une de leurs extrémités. La partie (coulée d'une seule pièce) qui porte les paliers P, P′, destinés à recevoir l'arbre coudé ainsi que les guides-crosses GG′, G_1G_1' du pied de bielle, est fixée solidement sur la fondation. Les longerons L_1L_1', L_2L_2' sont creux, cloisonnés, et sont placés dans l'axe des paliers ; ils sont fixés dans le prolongement au moyen de brides boulonnées. Ils ne sont pas attachés à la fondation ; ils sont portés seulement, à l'endroit du milieu de la longueur de chaque cylindre, sur des pieds en fonte B_1B_1', B_2B_2', sur lesquels ils peuvent glisser librement en s'allongeant. Les cylindres, reposant sur les longerons par l'intermédiaire des saillies cloisonnées dont ils sont munis, y sont fixés longitudinalement par des clavettes doubles et latéralement par des vis, qui empêchent les longerons de s'écarter.

Ce type de bâti, s'il n'est pas du système de construction le plus économique, présente de grands avantages. En effet, ces longerons, dont l'axe coïncide avec l'axe du moteur, reçoivent l'effort et le transmettent suivant leur axe, ce qui est important à cause de la grandeur de cet effort. De plus, ils permettent une accessibilité parfaite de tous les organes. Les couvercles des cylindres étant glissés sur la tige des pistons, on a accès dans les cylindres par en haut comme par en bas pour aller nettoyer les cavités où se trouvent les soupapes d'admission et surtout les soupapes d'échappement. Il est en effet très important de pouvoir facilement visiter la cavité de l'échappement dans laquelle se rassemblent les huiles. Les guides et les patins placés dans les longerons sont accessibles et bien à la main. Enfin, quand il faut enlever un organe quelconque et l'attacher pour cela au crochet du pont roulant, on a toute facilité de le faire ; la place ne manque pas entre les longerons.

2. **Bâti à collerette de la Société d'Augsbourg-Nüremberg.** — Le bâti du moteur d'*Augsbourg-Nüremberg*, représenté sur la figure 173, repose par toute sa longueur sur les fondations, auxquelles il est solidement attaché par des scellements et des boulons de fond. Il est à peu près symétrique par rapport à l'axe longitudinal de la machine et porte les deux coussinets de l'arbre moteur. La glissière de la crosse est fondue avec le bâti et est disposée pour ne recevoir qu'un seul coulisseau, le moteur ne devant avoir qu'un seul sens de rotation.

Le bâti porte à l'arrière une forte collerette sur laquelle vient s'assembler le cylindre ; son diamètre est assez grand pour empêcher tout déplacement latéral de ce cylindre.

Digitized by Google

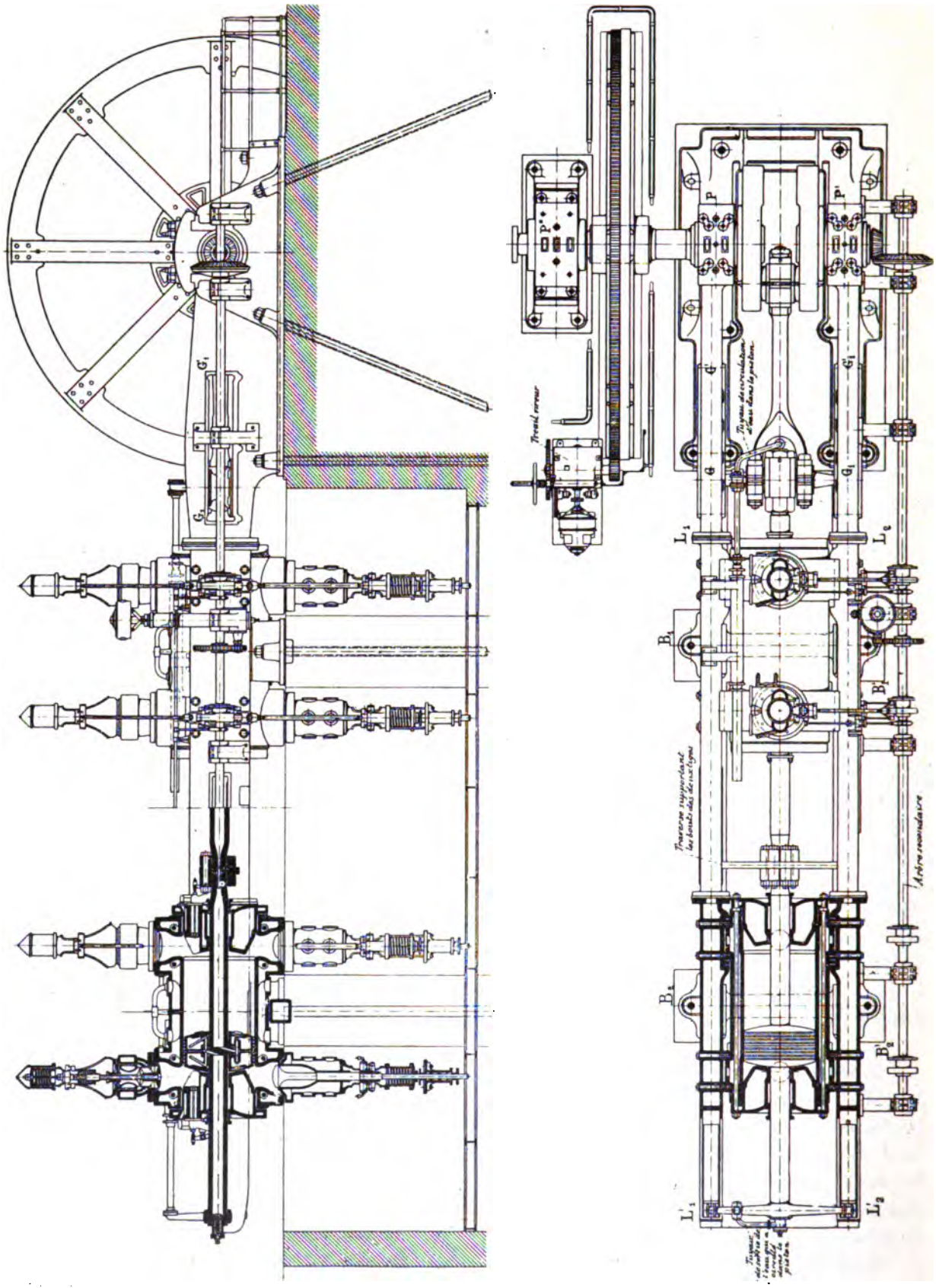


Fig. 172. — Moteur à gaz tandem, type Cockerill, 1.200 chevaux.

Digitized by Google

Dans les machines tandem (Société d'Augsbourg-Nüremberg), les deux cylindres sont reliés entre eux par une entretoise $EE_1E_2E_2'$ munie d'une glissière GG' dans laquelle se déplace la crosse C qui réunit et soutient les deux pistons (Voir *fig.* 173). Cette glissière présente à la partie supérieure une large ouverture OO' qui permet de sortir les fonds de cylindres et facilite la visite des soupapes. Elle est renforcée par des tirants en acier. Les deux collerettes ont le même diamètre que celle du bâti et s'emboîtent comme elle dans les deux cylindres en assurant leur centrage rigoureux. La glissière arrière a également une collerette à emboîtement (Voir les figures 174, 175, 176, qui représentent le mode de démontage d'un moteur d'Augsbourg-Nüremberg).

3. Cylindres. — Chambres à eau. — Fonds. — Les cylindres des moteurs à gaz de grande puissance sont généralement en fonte. De plus, dans les machines à cylindres multiples, ils sont *interchangeables*.

Ces cylindres sont à *doubles parois pour la circulation d'eau*, et portent aux deux extrémités en haut et en bas des *tubulures pour l'assise des boîtes à soupapes d'admission et d'échappement* (moteurs Cockerill, Deutz). Dans les moteurs d'*Augsbourg-Nüremberg*, *les boîtes à soupapes sont fondues avec le cylindre*.

La chambre à eau, autour des cylindres, est munie de plusieurs trous d'homme pour nettoyer l'enveloppe intérieure et enlever les boues et les incrustations. Ces trous servent aussi en fonderie à assurer la position du noyau et à faciliter la réussite de la coulée. Dans le moteur Cockerill, des tirants transversaux se placent (un devant et un derrière chaque tubulure) le plus près possible du corps cylindrique, afin de renforcer ce dernier dont la solidité est quelque peu diminuée par l'ouverture de la tubulure : de plus,

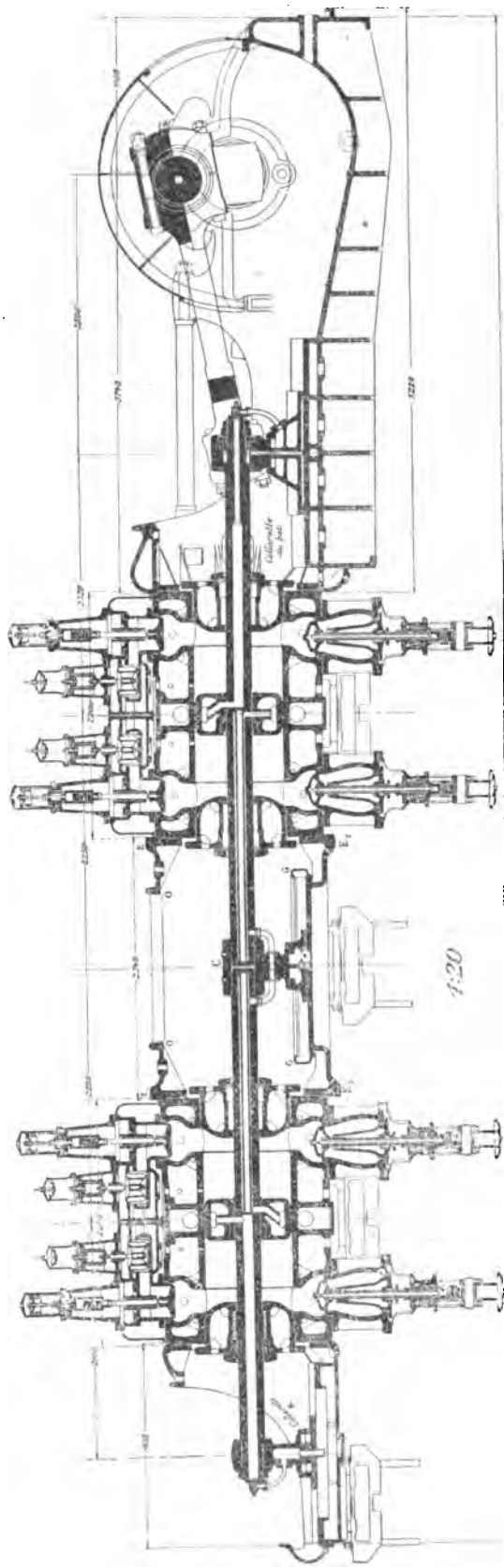


Fig. 173. — Moteur à gaz de 1.000 chevaux, type Augsbourg-Nüremberg. Construit pour la Aktiengesellschaft Bergwerksverein Friedrich Wilhelms-Hütte, Mülheim-Ruhr.

Digitized by Google

des tirants longitudinaux traversent la chambre d'eau de part en part et servent en même temps de boulons d'attache pour les couvercles qui ferment les cylindres aux deux bouts.

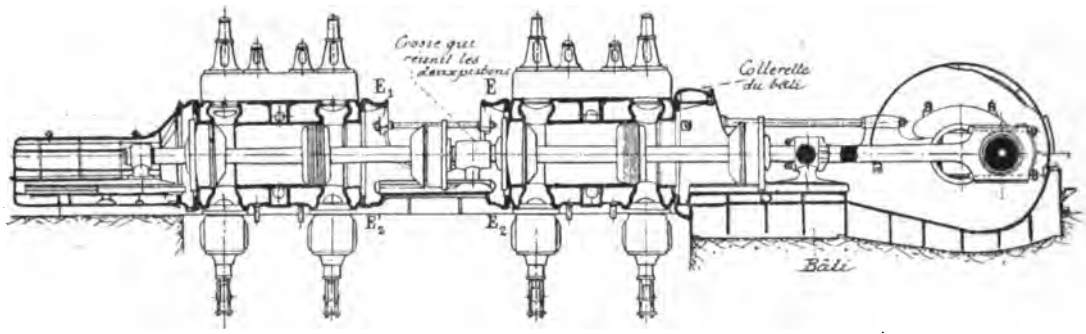


Fig. 174. — Nettoyage des soupapes N d'un moteur d Augsbourg-Nüremberg.

Les tubulures des boîtes d'admission (moteur Cockerill) portent d'un côté l'ajutage pour le bouchon d'allumage, et du côté opposé la douille pour le robinet de prise de diagrammes.

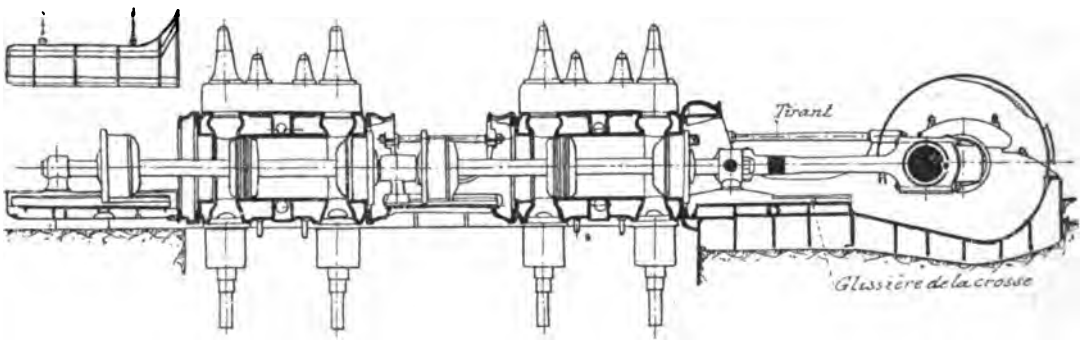


Fig. 175. — Nettoyage des soupapes R d'un moteur d'Augsbourg-Nüremberg.

Les *fonds* des cylindres sont généralement semblables entre eux et de même diamètre à l'avant et à l'arrière. Ils sont à double fond pour la circulation d'eau. Leur démontage est

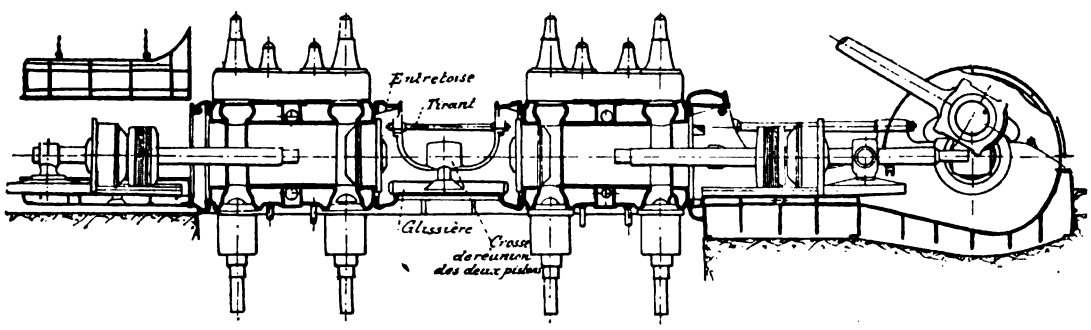


Fig. 176. — Nettoyage des cylindres et des pistons d'un moteur d'Augsbourg-Nüremberg.

facile et peut se faire sans toucher aucun organe du moteur. Dans le moteur Cockerill, les écrous des tirants dont nous avons parlé plus haut, tirants qui fixent les couvercles, sont accessibles avec les clés ordinaires.

Ces couvercles sont munis d'une boîte à bourrage avec garniture métallique pour le dassage de la tige de piston; ils portent latéralement, dans les moteurs Cockerill, les aju-

Digitized by Google

tages où se placent, d'une part le bouchon d'allumage, de l'autre une soupape de mise en marche par l'air comprimé.

Les figures 174, 175, 176 montrent combien est facile le *démontage d'un moteur d'Augsbourg-Nüremberg*. La figure 174 représente le démontage que nécessite le *nettoyage des soupapes avant;* le moteur est amené à fond de course avant, les couvercles avant des deux cylindres sont démontés et glissés sur la tige commune des pistons; les soupapes avant d'admission et d'échappement sont faciles à visiter, comme le montre la figure 174. La figure 175 représente le démontage que nécessite le *nettoyage des soupapes arrière;* le moteur est amené à fond de course arrière et les couvercles arrière des deux cylindres sont démontés et glissés sur la tige commune des pistons. Enfin la figure 176 représente le démontage qui est nécessité par le *nettoyage des cylindres et des pistons;* les couvercles avant et arrière des cylindres sont glissés sur la tige des pistons; la crosse qui réunit les deux tiges des pistons permet de les séparer et de sortir le piston arrière; la tige du piston avant peut se démonter et permet la sortie du piston avant.

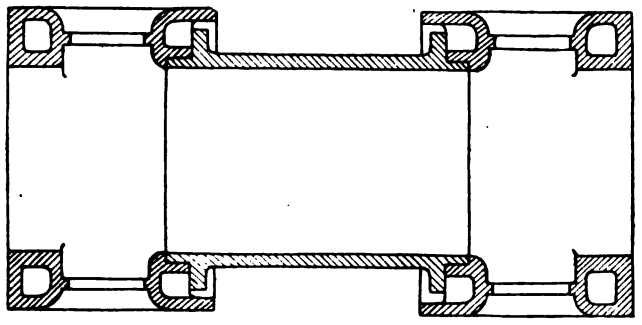


Fig. 177. — Moteur Deutz, cylindre en trois parties.

Afin de permettre les dilatations résultant de l'élévation de la température des parois, les cylindres des grands moteurs de *Deutz* sont formés de trois parties, comme le montre la figure 177. Les couvercles sont fixés au cylindre par des joints élastiques dont la figure 178 donne les détails.

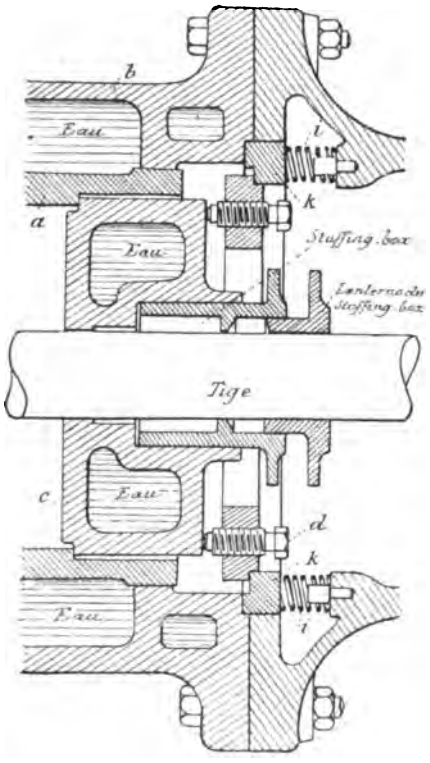


Fig. 178. — Détails du couvercle du cylindre des grands moteurs de Deutz.

a, Paroi intérieure du cylindre; — *b*, Paroi de la chambre d'eau; — *c*, Couvercle; — *d*, Vis de serrage du couvercle; — *k*, Anneau; — *i*, Ressort.

4. Pistons. — Les pistons du moteur *Cockeril* sont en deux *pièces, reliées entre elles par des boulons.* Chaque moitié s'appuie contre une embase forgée avec la tige et transmet ainsi la pression de l'explosion directement sur la tige sans passer par des boulons ou écrous. Ces pistons sont en *acier coulé* et munis de *cercles en fonte;* ils sont portés par les tiges et ne viennent en contact avec la paroi intérieure du cylindre que par leurs garnitures.

Dans le moteur de *Nüremberg*, les pistons sont *en fonte*. Leur longueur est réduite au minimum pour ne pas allonger inutilement la machine; quatre ou cinq segments en fonte suffisent pour assurer l'étanchéité.

Dans tous les moteurs à quatre temps et à double effet que nous étudions ici, il n'y a généralement qu'un seul piston dans chaque cylindre. Toutefois la firme *Dingler*, de *Zweibrücken* (Alsace), construit des moteurs à quatre temps et à double effet dans lesquels les

Digitized by Google

explosions se font à l'intérieur de l'espace compris entre deux pistons fixés sur une même tige. Un tel moteur est représenté sur la figure 179.

5. Tiges de pistons. — *Les tiges de pistons, en acier forgé, sont creuses pour la circulation d'eau.* Elles sont portées aux deux extrémités par des traverses munies aux deux bouts de sabots en fonte guidés soit dans des longerons (Cockerill), soit dans une glissière placée dans l'entretoise arrière (Nüremberg). Dans les moteurs tandem, les bouts des deux tiges sont supportés. Le poids des pistons est ainsi réparti sur trois glissières, ce qui réduit au minimum l'ovalisation des cylindres.

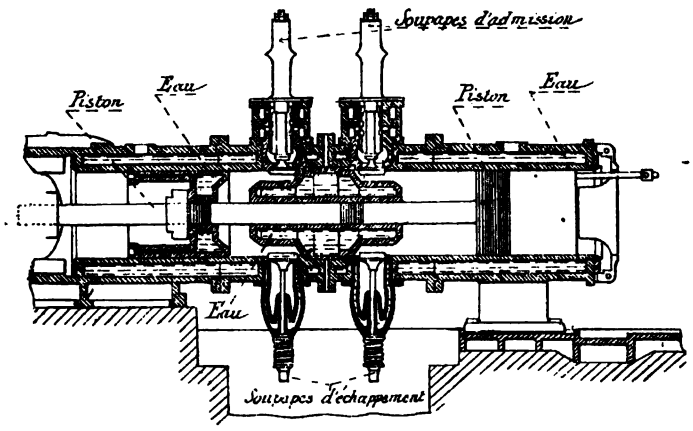


Fig. 179. — Cylindre du moteur Dingler à deux pistons (quatre temps et double effet).

Les coulisseaux sont tous garnis de métal blanc antifriction.

6. Crosse motrice. — Dans le moteur de *Nüremberg*, *la crosse motrice est en acier au nickel et porte le tourillon de la bielle.* Son emmanchement avec la tige de piston permet de la laisser dans la glissière quand on visite le piston, comme le montre la figure 176.

Dans le moteur *Cockerill*, *la traverse d'avant sert de crosse pour la tige de piston et de pivot pour le pied de bielle* (*fig.* 172).

La bielle est à fourche du côté de la crosse et à têtes marines.

7. Arbre coudé. — L'*arbre coudé* est généralement composé de deux *joues en acier moulé*, *coulées avec leurs contrepoids;* les bouts et le pivot de manivelle sont en acier forgé. Cet arbre est porté par *trois paliers :* deux d'entre eux sont près de la manivelle et font partie du bâti; le troisième est à l'extrémité de l'arbre, près du volant (Voir sur la figure 172 les trois paliers P, P′, P″ du moteur Cockerill). Dans les moteurs *jumelés*, l'arbre coudé est *double;* il est porté par les paliers des deux bâtis.

8. Presse-étoupes. — Les presse-étoupes ou stuffing-box des fonds du cylindre sont, dans les moteurs de *Nüremberg*, munis de *segments élastiques* et de *garnitures en métal antifriction serrées sur la tige du piston par des ressorts à boudin* (*fig.* 180). Ce système donne sur les moteurs à gaz d'aussi bons résultats que sur les grosses machines à vapeur. Chaque presse-étoupe est graissé par une pompe à huile spéciale.

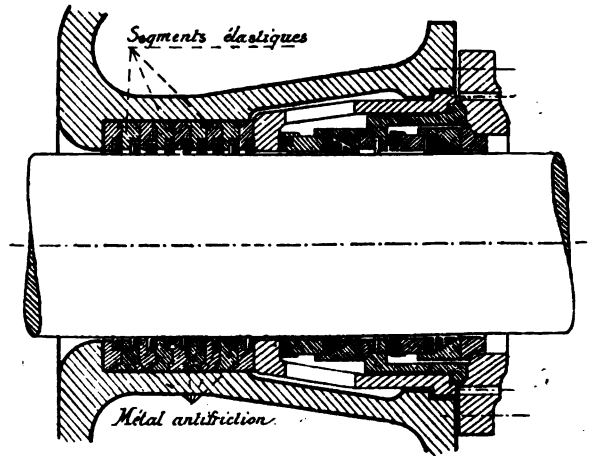


Fig. 180. — Moteur de Nüremberg. Stuffing-box.

Le stuffing-box du moteur de *Deutz* est représenté sur la figure 181. Il est à *deux*

Digitized by Google

garnitures; la garniture intérieure est faite avec des segments d'une seule pièce en fonte douce disposés dans des cavités annulaires; la garniture extérieure est en segments d'antifriction à section triangulaire formée de deux parties. Entre ces deux garnitures se trouve une chambre annulaire en relation avec le tuyau d'échappement; les gaz qui ont traversé la première garniture peuvent sortir par là. Une pompe à huile permet une circulation d'huile de graissage dans les deux garnitures.

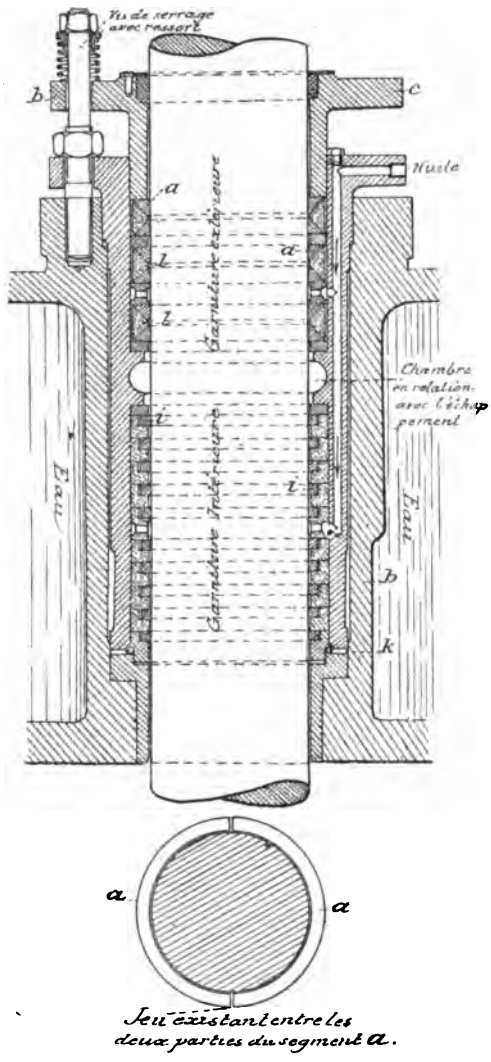


FIG. 181. — Stuffing-box de Deutz à deux garnitures métalliques.

a, Segments antifriction; — *l*, Coins en acier pour le serrage des segments antifriction; — *i*, Segments élastiques d'une seule pièce en fonte douce; — *c*, Lanterne du presse-étoupes; — *k*, Anneau formant joint.

9. Volant. — Suivant l'emploi du moteur auquel il est destiné, le *volant* est soit entièrement en fonte et en deux pièces, soit formé d'un moyeu et d'une jante en fonte avec bras en acier forgé.

Le moyeu est calé sur l'arbre au moyen de deux cales tangentes en acier. Dans le moteur Cockerill (*fig.* 172), la *jante* est munie d'une *denture engrenant avec le pignon du treuil vireur* à main ou électrique, qui sert à amener la manivelle au point convenable pour la mise en route du moteur. Un tel vireur électrique est représenté sur la figure 182.

Si n est le nombre de tours maximum du moteur, n' le nombre de tours minimum, on appelle *coefficient de régularité* le rapport

$$a = \frac{n - n'}{\frac{n + n'}{2}}.$$

L'emploi des gros moteurs pour la commande des dynamos exige des coefficients de régularité ne dépassant guère 1/60 pour les dynamos à courant continu et 1/150 pour les alternateurs en parallèle.

Désignons par :

P, le poids de la jante du volant en tonnes;

D, le diamètre du volant en mètres;

a, le coefficient de régularité;

$v = \frac{n + n'}{2}$, le nombre moyen de tours par minute;

N, la puissance en chevaux.

Le poids P est donné par la formule

$$P = K \frac{N}{D^2 a v^3},$$

dans laquelle K est un coefficient numérique qui a les valeurs suivantes ;

Digitized by Google

K = 44.000 pour des moteurs à 4 temps et à simple effet;

K = 28.000 pour deux moteurs à simple effet opposés ou un moteur à double effet (*fig.* 140);

K = 25.000 pour cylindres jumelés à simple effet avec manivelles à 90°;

K = 21.000 pour deux cylindres jumelés à simple effet avec manivelles parallèles (*fig.* 141);

K = 7.000 pour quatre cylindres à simple effet opposés ou deux cylindres à double effet en tandem (*fig.* 145 et 146).

Le poids total du volant est d'ailleurs égal à 1,4P.

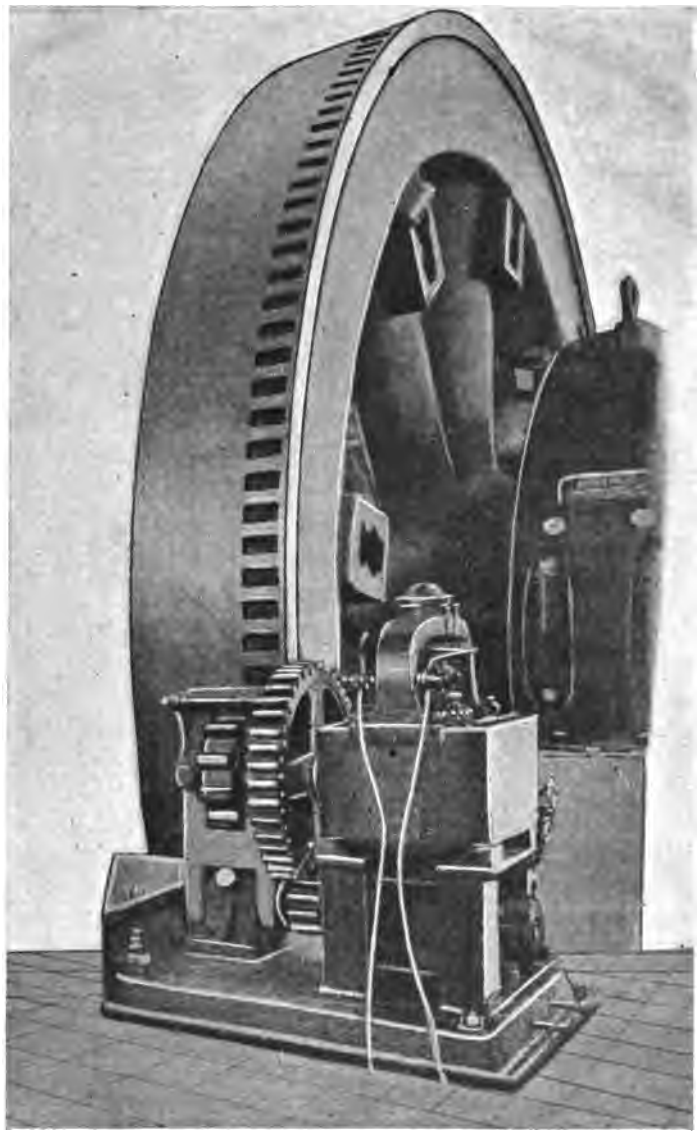


Fig. 182. — Vireur électrique.

10. Circulation d'eau. — D'une manière générale, toutes les parties du moteur en contact avec le gaz chaud sont refroidies.

Une circulation d'eau est ainsi établie :

Dans les *enveloppes et couvercles des cylindres;*

Dans les *boîtes à soupapes;*

Dans les *soupapes d'échappement;*

Dans les *pistons.*

Les *coussinets de l'arbre moteur* et les *guide-crosses* sont aussi parfois refroidis par un courant d'eau (Cockerill).

Pour assurer la circulation dans les organes autres que les pistons, il faut une pression d'eau de 1 atmosphère environ.

11. Circulation d'eau dans le piston. — Il n'en est plus de même dans les pistons dans lesquels, à cause du mouvement alternatif, la circulation ne peut se faire que si l'eau est *sous une pression d'autant plus élevée que la vitesse du piston est plus grande :* il convient en effet d'éviter les coups de bélier qui résulteraient du mouvement alternatif du piston, si la continuité de l'écoulement n'était pas assurée. Cette eau pénètre à l'une des extrémités de la tige du piston, circule dans le corps de celui-ci et sort à l'autre extrémité. La figure 183 représente une telle circulation d'eau dans le piston du moteur Reichenbach, construit par la firme *Union d'Essen.*

Digitized by Google

Dans le moteur *Cockerill* (*fig.* 172), l'eau arrive aux pistons par un tube coulissant dans un cylindre fixe; ce tube, passant de part et d'autre du cylindre, ne déplace aucun volume. L'eau pénètre dans le tube par un orifice placé au milieu de sa longueur, orifice qui voyage constamment à l'intérieur du cylindre fixe. Ce cylindre reçoit l'eau refoulée par une pompe à plongeur actionnée par l'arbre du moteur. Suivant le type de machine, la pompe doit donner de 4 à 6 kilogrammes de pression. Cette pression dépend de la longueur de la colonne d'eau en mouvement dans la tige du piston moteur et de la vitesse linéaire du piston. L'eau sort des tiges de piston par un tube coulissant dans un cylindre fixe, comme pour l'arrivée. Sa sortie se fait finalement à travers une soupape chargée d'un ressort réglé pour laisser échapper l'eau aux 4, 5 ou 6 kilogrammes de pression nécessaires.

Parfois on place cette soupape au bout arrière de la tige du piston, et un bout de tube courant dans un bac ouvert laisse échapper l'eau.

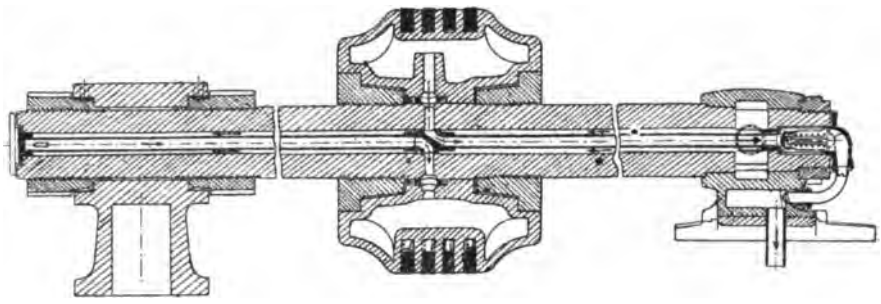


Fig. 183. — Piston à circulation d'eau Reichenbach.

12. **Volume d'eau nécessaire pour le refroidissement d'un grand moteur.** — D'après les expériences de M. Mathot, il faut, pour des moteurs de 200 à 1.000 chevaux, faire circuler, par cheval-heure effectif, de 18 à 24 kilogrammes d'eau aux cylindres, culasses et stuffing-box; de 8 à 12 kilogrammes aux pistons et tiges de pistons; de 4 à 6 kilogrammes aux soupapes. Il faut donc, en tout, par cheval effectif et par heure, de 30 à 42 kilogrammes d'eau admise à 15° C. et sortant à 35° des enveloppes du cylindre, à 45° de celles des soupapes, à 40° des pistons. Un moteur de 1.000 chevaux exige donc environ 40 mètres cubes d'eau de circulation par heure. En employant des tours de réfrigération, on ne dépense par heure qu'une faible quantité d'eau que l'on doit ajouter pour remplacer l'eau qui s'est évaporée pendant la réfrigération : en même temps on diminue considérablement les incrustations des cylindres par les dépôts de ces eaux.

13. **Arbre secondaire.** — L'arbre secondaire, qui porte les cames et excentriques de distribution, reçoit son mouvement de l'arbre moteur par engrenages coniques; il ne fait que la moitié du nombre de tours de celui-ci. Il est placé parallèlement à l'axe du moteur. Dans le moteur *Cockerill*, il est porté par des paliers boulonnés contre le bâti et les longerons.

14. **Soupapes. — Leur nombre.** — Dans chaque *demi-cylindre*, la distribution du mélange gazeux est effectuée au moyen de *trois ou quatre soupapes verticales*.

15. **Soupape d'échappement.** — La soupape d'*échappement* est généralement placée à la partie inférieure du cylindre; dans tous les moteurs, sa tige est *creuse* pour réaliser une circulation d'eau dans la tige et la soupape. La figure 184 représente la soupape

Digitized by Google

d'échappement avec circulation d'eau du moteur *Reichenbach* de la firme *Union d'Essen*. Sur la figure 185, qui représente une soupape d'échappement de la machine de *Nüremberg*, on voit le schéma de la circulation de l'eau de réfrigération.

Afin de faciliter la surveillance et l'entretien de cette soupape, la firme *Krupp d'Essen* l'a disposée à la partie supérieure du cylindre, comme le montre la figure 186. La pratique dira si cette combinaison donne tout ce que les constructeurs en attendent et si l'avantage qui résulte de la grande facilité d'accès compense les inconvénients qui résultent :

1° De l'élévation de la température des chambres

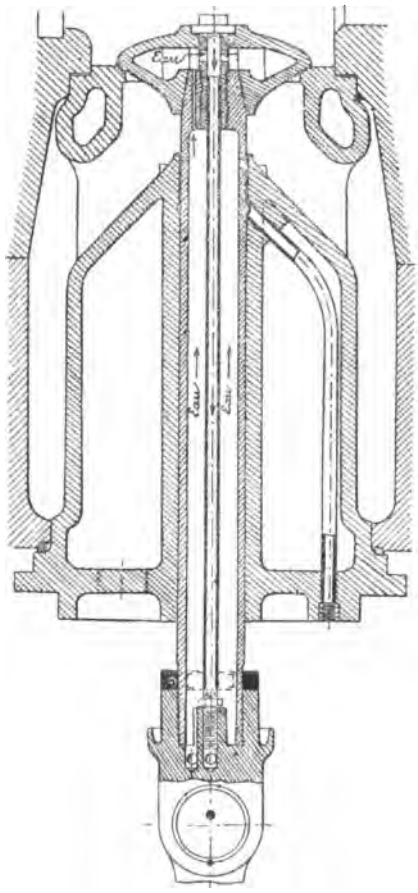


Fig. 184. — Soupape d'échappement du moteur Reichenbach.

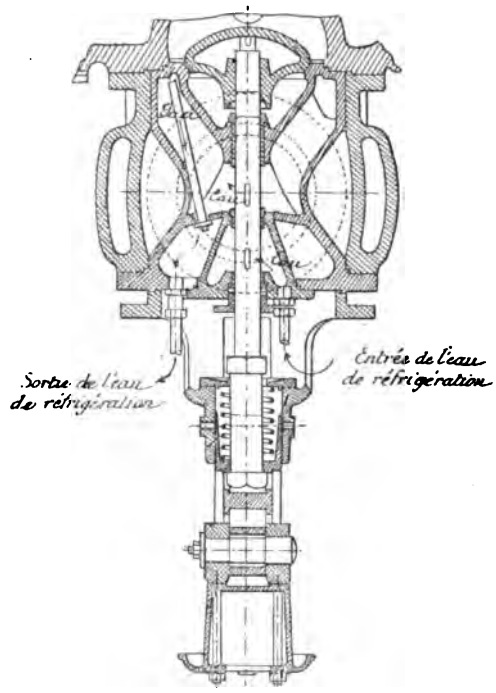


Fig. 185. — Détails d'une soupape d'échappement du moteur de Nüremberg.

d'explosion et des soupapes d'admission, susceptible d'échauffer les gaz lors de leur introduction ;

2° De la création d'une chambre d'explosion à forme complexe défavorable à la propagation de la flamme dans le mélange tonnant ;

3° De la suppression de l'issue naturelle que constituent, pour les huiles et cambouis, les soupapes d'échappement disposées dans le bas des cylindres.

16. Soupapes d'admission. — Valve à deux sièges. — Obturateur à air (moteur Cockerill). — Les soupapes d'admission se trouvent à la partie supérieure du moteur. L'une de ces soupapes sert à fermer complètement le cylindre à la fin de l'aspiration, pendant les périodes de compression, de détente et d'échappement. Nous lui donnerons le nom de *soupape d'admission ;* dans le moteur Cockerill, elle est dénommée soupape de mélange. Cette soupape a la forme représentée sur la figure 187, qui est celle d'une soupape d'admission à circulation d'eau du moteur *Reichenbach. Dans la plupart des moteurs* (Nüremberg, Cockerill), *cette soupape a une levée constante.*

Digitized by Google

L'autre soupape d'admission est une *soupape à double siège équilibrée*, du type représenté sur la figure 188. Dans certains moteurs [moteurs Reichenbach (*fig.* 188), Krupp (*fig.* 186), Ehrhardt et Sehmer (*fig.* 189)], cette soupape sert à la fois pour l'arrivée de l'air et du gaz; aussi lui donne-t-on le nom de soupape de mélange. Dans d'autres moteurs, tels que le moteur de Nüremberg (*fig.* 173 et *fig.* 190), le moteur *Cockerill* (*fig.* 172), cette soupape à double siège sert uniquement à l'arrivée du gaz; on lui donne le nom de soupape à gaz; un organe spécial, dit *obturateur à air*, sert pour l'arrivée de l'air.

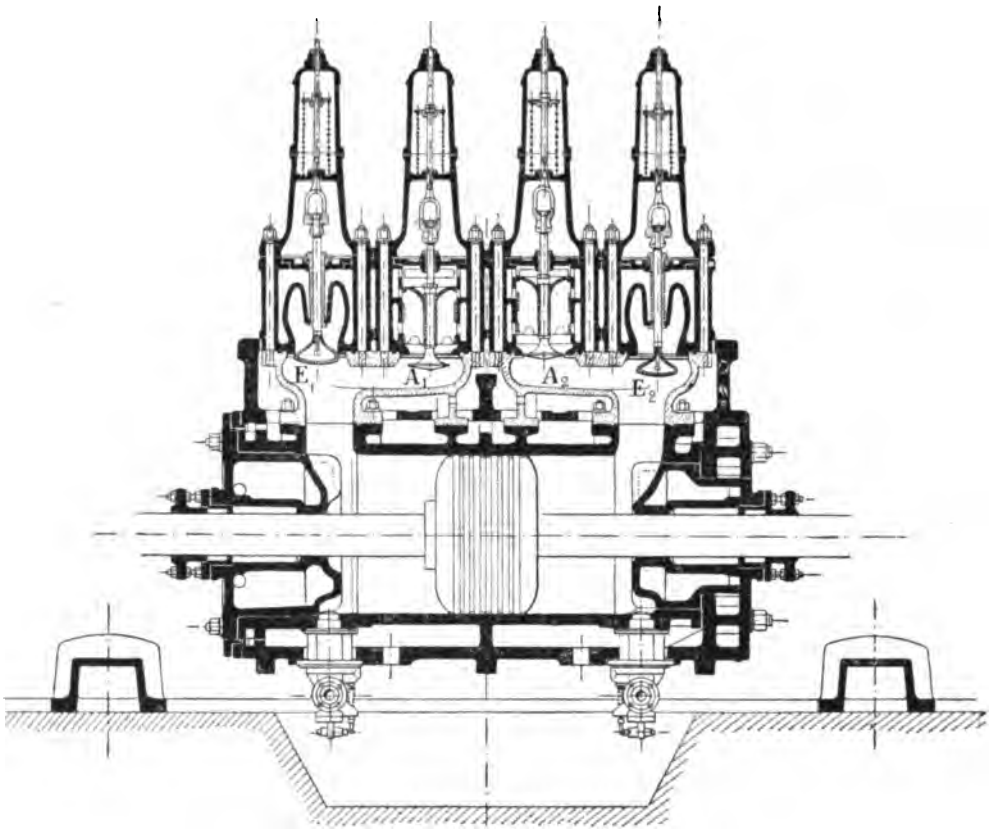


FIG. 186. — Cylindre de moteur à gaz Krupp, à Essen-Ruhr.
A_1, A_2, Soupapes d'admission; — E_1, E_2, Soupapes d'échappement.

La valve à double siège est parfois remplacée par un *tiroir* double jouant le rôle de mélangeur, comme dans le moteur *Cail* construit par la *Société française de Constructions mécaniques* (*fig.* 207).

La soupape équilibrée à double siège est généralement sous la dépendance du régulateur.

La tige de la soupape à double siège est parfois entièrement séparée de la tige de la soupape d'admission; tel est le cas des moteurs de *Nüremberg* (*fig.* 173), du moteur *Ehrhardt et Sehmer* (*fig.* 189), du moteur *Deutz* (*fig.* 201).

Parfois la tige de la soupape à double siège est creuse et entoure la tige de la soupape d'admission, comme cela arrive dans les moteurs *Cockerill*, *Krupp* (*fig.* 186), *Schüchtermann et Kremer de Dortmund.*

Ces soupapes sont souvent commandées par des *excentriques* et des *leviers à rouleaux* qui rendent doux et silencieux le mouvement de distribution et diminuent les réactions sur ses organes.

On emploie aussi des *cames* dans beaucoup de moteurs ; les cames doivent être com-

Digitized by Google

binées à des ressorts plus puissants que ceux qui sont employés avec les excentriques ; en effet, les ressorts doivent actionner non seulement la soupape, sa tige et son levier, mais encore la bielle de commande de ce levier.

La puissance de ces ressorts ne doit pas être supérieure à celle qui est nécessaire pour produire l'accélération des masses à mouvoir; mais, pour d'autres raisons (si, par exemple, le moteur se règle par compression variable, et, d'une façon générale, pendant la marche à vide), les ressorts doivent être assez forts pour empêcher l'ouverture de la soupape sous l'action du vide partiel produit pendant la course d'aspiration.

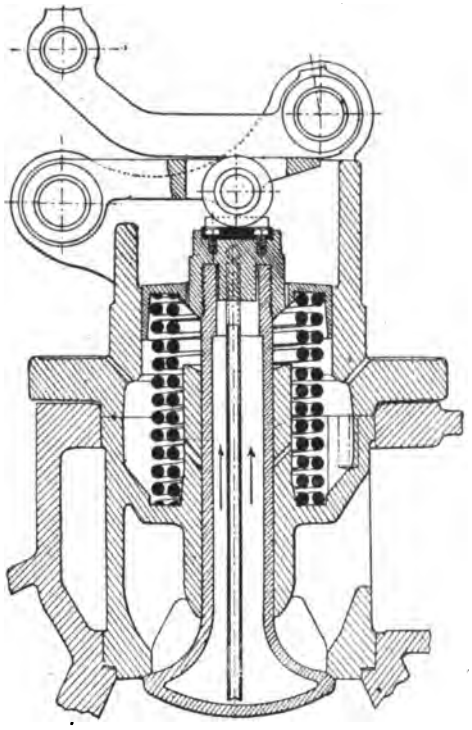


Fig. 187. — Soupape d'admission du moteur Reichenbach.

Avec une double came, à galet et contre-galet, on peut arriver à se passer de ressort de rappel, exactement comme avec un excentrique; il suffit d'interposer, dans le système de commande, des ressorts amortisseurs qui n'ont à supporter qu'une faible compression. Ordinairement ce système n'est appliqué qu'aux soupapes d'échappement.

On ne saurait dire ce qui vaut mieux, d'une façon générale, de l'excentrique ou de la came; mais ce qui importe le plus, c'est de donner à la came un profil correct pour assurer la douceur de la marche.

17. Modes de réglage actuellement usités. — Le *réglage* du moteur par *Tout ou Rien* est complètement abandonné dans les grands moteurs. Trois modes de réglage sont actuellement usités.

1° *Le réglage à composition constante, admission variable et compression variable.* — Dans cette méthode, dès le commencement de la course, l'air et le gaz sont admis dans une proportion toujours constante. Abstraction faite de la diffusion dans les gaz résiduaires, le mélange présente donc une composition uniforme. Aux faibles charges, la quantité de mélange est réduite par l'action du régulateur, soit sur la section de passage, soit sur la durée de l'admission du mélange, en coupant cette admission par l'emploi d'une valve spéciale; le travail dépensé pour la manœuvre de cette valve se compense par ce fait que le travail négatif de la période d'aspiration à faible charge est moindre que lorsqu'on règle par étranglement.

Ce mode de réglage est adopté dans les moteurs *Deutz*, de la *Société alsacienne*, *Ehrhardt et Sehmer*, dans les *moteurs Cockerill à marche lente* qui actionnent des machines soufflantes et pour lesquels une grande variation de vitesse est exigée.

Ce réglage présente quelques inconvénients.

a) Il fait varier la compression dans de larges limites : or l'effet des masses en mouvement doit être équilibré par la compression; c'est pourquoi ce réglage convient bien aux moteurs actionnant des machines soufflantes, la pression dans le soufflet s'ajoutant à la compression dans le cylindre à gaz.

b) Il exige, en raison de la formation, aux faibles charges, d'un vide considérable à la fin des aspirations, des ressorts très forts aux soupapes ou un verrouillage convenable (Voir plus loin, moteur *Cockerill* et moteur *Cail*) pour les empêcher de s'ouvrir,

Digitized by Google

2° *Le réglage à composition variable, admission totale et compression constante.* — Dans

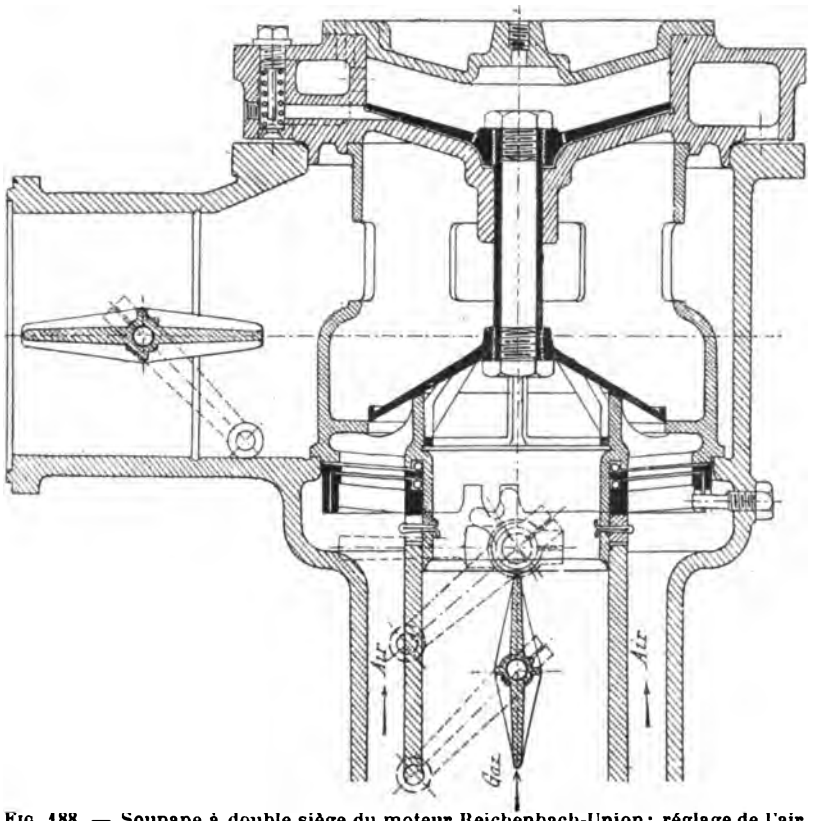


FIG. 188. — Soupape à double siège du moteur Reichenbach-Union; réglage de l'air au moyen d'un papillon annulaire à crémaillère.

ce système, où la compression reste constante, la composition du mélange est modifiée par

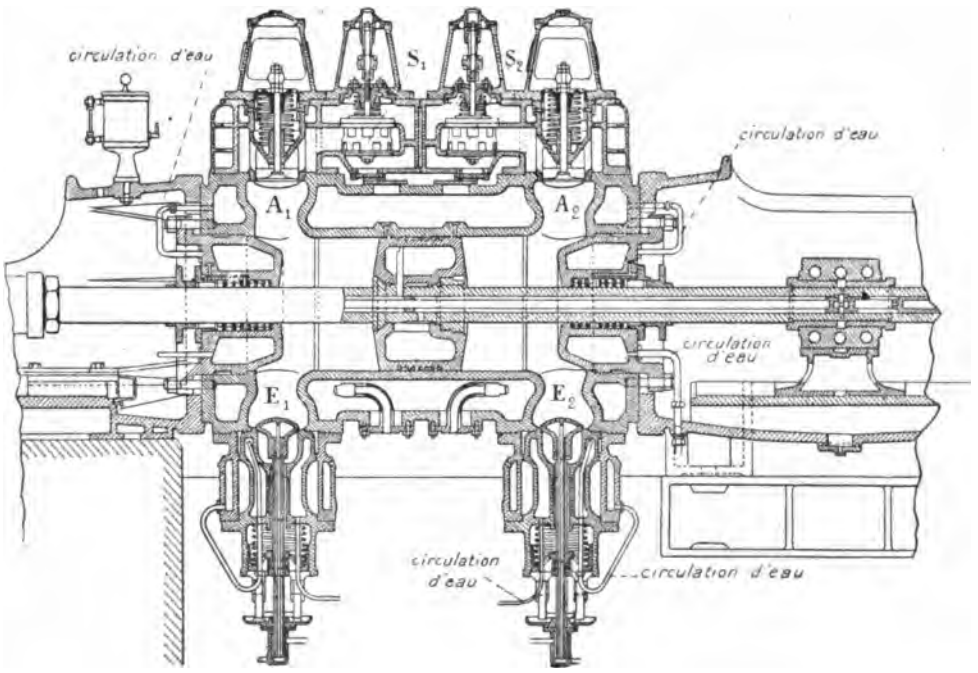


FIG. 189. — Cylindre de moteur Ehrhardt et Sehmer à Schleifmühle.
A_1, A_2, Soupapes d'admission; — S_1, S_2, Soupapes à double siège équilibrées; — E_1, E_2, Soupapes d'échappement.

le régulateur; l'air est admis seul d'abord, puis un mélange d'air et de gaz est introduit

Digitized by Google

pendant une partie de la course du piston, portion de course d'autant plus grande que la charge est plus élevée. *Ce mélange d'air et de gaz doit être admis jusqu'à la fin de la course du piston*, de manière à former au fond du cylindre une couche bien inflammable au voisinage de l'allumeur. On évite ainsi les ratés, même lors d'une faible admission de gaz. Enfin, le cylindre étant toujours entièrement rempli, il ne se produit pas de dépression à l'intérieur; les soupapes d'admission et d'échappement peuvent être fermées et retenues sur leurs sièges sous l'influence des ressorts; un verrouillage spécial ne devient pas nécessaire comme dans le mode de réglage précédent.

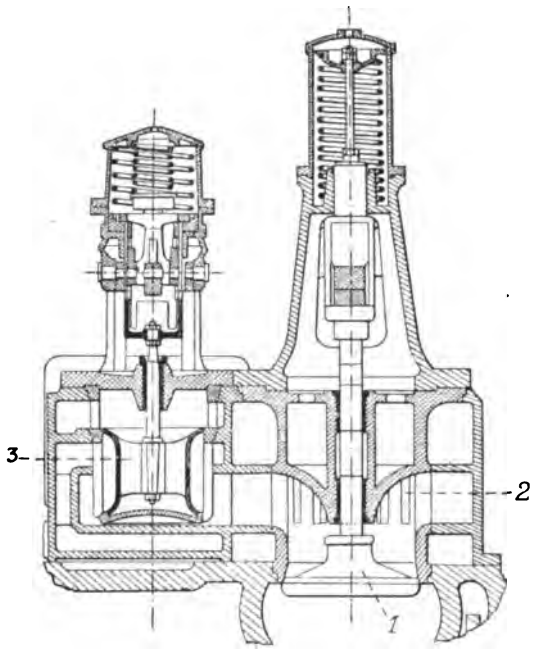


Fig. 190. — Soupape à double siège équilibrée et soupape d'admission du moteur de Nüremberg.
1, Soupape d'admission; — 2, Ouvertures d'arrivée de l'air; 3, Soupape à double siège équilibrée.

Les moteurs de *Nüremberg* et certains moteurs *Cockerill* fonctionnent avec ce mode de réglage; les ingénieurs de Seraing le préconisent pour les *moteurs à grande vitesse* et pour ceux qui exigent une *très grande régularité de marche*, comme les moteurs actionnant des alternateurs.

M. *Reinhardt* critique beaucoup ce mode de réglage, notamment dans les moteurs de *Nüremberg*, dans lesquels la tige de la soupape à gaz (soupape à double siège) est séparée de la tige de la soupape d'admission. Dans ces conditions, la composition varie non seulement avec la charge, mais encore à charge constante; en effet, lorsque le gaz commence à arriver sans vitesse, l'air arrivant dès le début par les ouvertures 2 (*fig.* 190) a déjà acquis une certaine accélération dans la conduite d'admission. De plus, pendant la période d'ouverture de la valve à gaz, la section de passage du gaz varie constamment, ce qui modifie la vitesse d'arrivée du gaz, alors que l'air arrive avec une vitesse sensiblement constante; enfin, si la valve à gaz ne se ferme pas après la soupape d'admission, sa fermeture vers la fin de la course d'admission appauvrit le mélange.

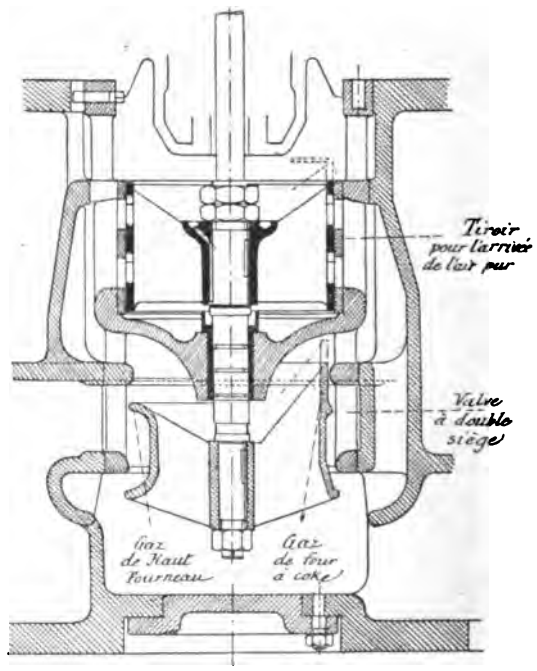


Fig. 191.—Soupape de mélange de la Maschinen Fabrik Thyssen und C°, à Mülheim-Ruhr.

D'après M. *Reinhardt*, les principaux désavantages de ce mode de réglage sont : *les mélanges pauvres à faible charge; l'allumage irrégulier, surtout quand la pression du gaz varie, et l'incertitude du réglage qui en résulte; la consommation exagérée de gaz aux faibles charges* par suite des ratés nombreux et des combustions lentes qui se produisent. Il peut arriver que la combustion lente des mélanges pauvres

Digitized by Google

soit parfois telle que les gaz d'échappement et ceux restant dans le cylindre brûlent encore au commencement de la course d'aspiration; il en résulte des inflammations prématurées jusque dans le canal de l'aspiration et des troubles de réglage.

M. *Richter* a cherché à perfectionner le dispositif de Nüremberg, au point de vue de la formation du mélange, dans les machines construites récemment par la maison *Thyssen*, *à Mülheim-sur-la-Ruhr* (*fig.* 191). Dans cette dernière machine, la soupape à deux sièges est montée sur la même tige qu'un tiroir cylindrique qui, lorsque la valve à gaz est fermée, permet l'admission d'air pur par une fente toujours ouverte (*fig.* 191). Quand la valve à gaz se soulève, la section libre pour le passage de l'air augmente régulièrement, de manière à assurer l'accélération ou le retard simultané de l'air et du gaz, sans exagérer le vide partiel occasionné par des admissions trop faibles. La valve à gaz étant à double siège, on obtient ainsi un bon mélange de gaz et d'air; de plus, l'accélération de la colonne d'air est utilisée pour produire celle du gaz. Mais il faudrait voir si cet avantage n'est pas contre-balancé par l'augmentation du vide pendant l'aspiration, augmentation due à la faible section initiale du passage de l'air pur. M. *Reinhardt* conseille de disposer le tiroir de la soupape à gaz de manière que son admission d'air se fasse en grand dès l'ouverture de l'admission du gaz, puis diminue graduellement à mesure que l'admission du gaz augmente par la levée de la soupape, de manière à combattre l'influence de l'accélération de la colonne d'air primitivement admise.

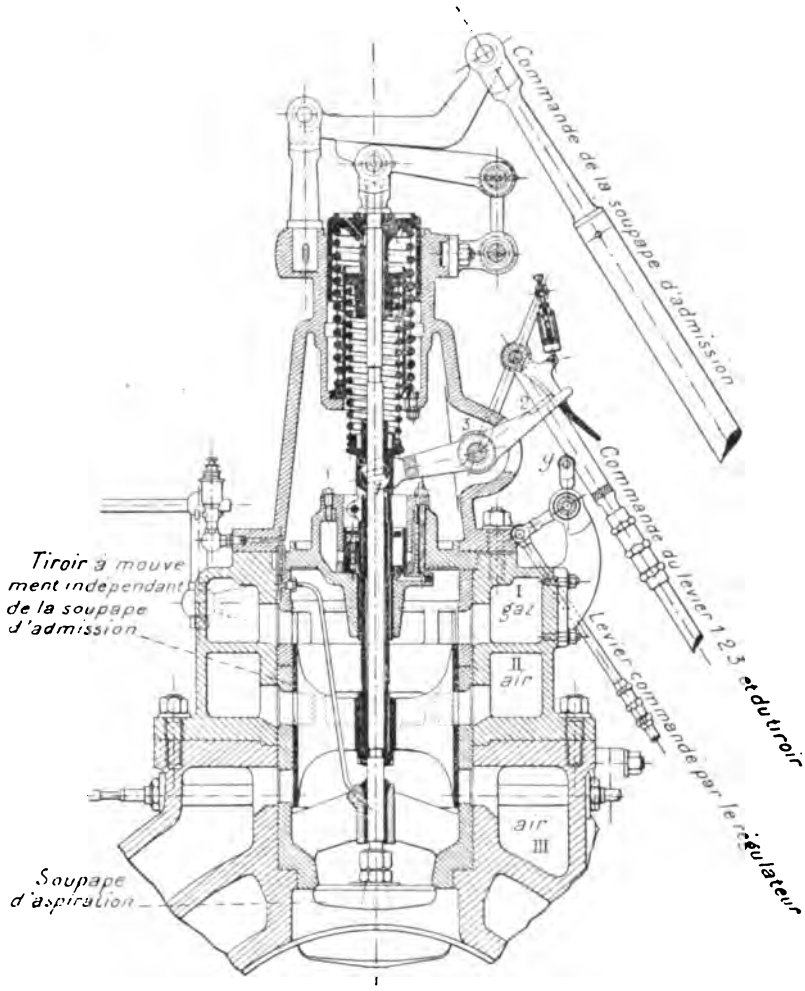


Fig. 192. — Distribution Reinhardt (Schüchtermann et Kremer, Dortmund).

En partant de cette idée, M. *Reinhardt* a proposé un mécanisme de régulation construit pour la firme *Schüchtermann et Kremer, de Dortmund.* Deux orifices distincts II et III (*fig.* 192) pour l'air et l'orifice I pour le gaz aboutissent dans la chambre cylindrique au-dessus de la valve d'admission, qui est ouverte pendant toute la course d'aspiration. Dans cette chambre, indépendamment de la soupape d'admission, se meut un tiroir commandé par le levier 1.2.3 tournant autour de l'axe 3. Au début de la course d'aspiration, ce tiroir soulevé ferme les ori-

Digitized by Google

fices I et II d'arrivée du gaz et de l'air et ouvre l'orifice III d'arrivée de l'air pur. A un moment donné de la course du piston, suivant la charge du moteur, un déclic commandé par le régulateur au moyen du galet *g* (le déclic agit plus ou moins tôt suivant la position de ce galet) lâche le tiroir, qui vient fermer brusquement l'orifice III, en même temps qu'en retombant il ouvre brusquement les orifices I et II, de telle manière que l'air et le gaz arrivent *dans la proportion convenable et en partant tous deux du repos.* Le tiroir n'est relevé qu'après fermeture de la soupape d'admission.

3° *Le réglage par admission et composition variables.* — Un exemple de ce système est donné par le mécanisme de soupape de *M. Reichenbach*, que construisent la Société *Union d'Essen* et la *Maschinenbau-Anstalt de Görlitz.* Dans ces moteurs, entre la puissance maxima et la puissance normale, c'est seulement la *quantité du mélange admis* qui varie ; puis, à

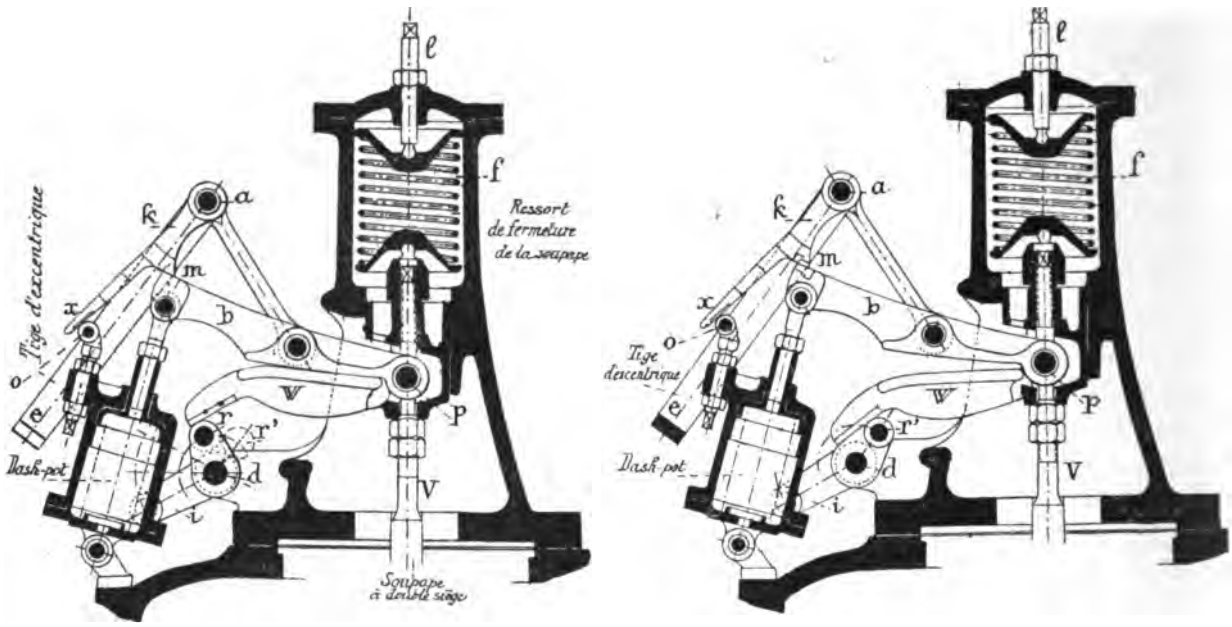


Fig. 193 et 194. — Réglage de la soupape à deux sièges dans le moteur de Nüremberg.

mesure que la charge du moteur diminue, on admet d'autant plus d'air, en changeant ainsi la qualité du mélange, sans changer la compression ; de plus, à mesure que la richesse du mélange diminue, le point de l'allumage s'avance par le régulateur, de manière à en assurer le fonctionnement même à très faibles charges. Le régulateur commande alors, d'abord l'admission d'un mélange de composition constante, puis les admissions d'air et de gaz venant séparément, enfin le point d'allumage.

Voyons maintenant en détail comment quelques-uns de ces modes de réglage ont été réalisés dans divers moteurs.

18. Réglage par mélange de composition variable, admission totale et compression constante. — Premier type de réglage à déclic des moteurs de Nüremberg. — Les figures 193 et 194 représentent un des modes de réglage par déclic des moteurs de *Nüremberg*.

La tige V de la soupape à double siège est commandée par le levier *b* qui, en roulant sur le levier W, tend à soulever la soupape malgré le ressort *f*. Ce levier *b*, pivotant autour de l'axe *p*, est entraîné par la tige d'excentrique *e*, au moyen d'un levier de déclic *akx* pivotant autour de *a*.

Digitized by Google

Lorsque la tige *e* s'abaisse, elle appuie en *m* le levier de déclic *ka* sur le levier *b* qui, pivotant autour de *p* et roulant sur W, ouvre la soupape à double siège. Durant ce mouvement, l'extrémité *x* du levier de déclic *ka* glisse sur le galet fixe *o*. A mesure que la tige *e* s'abaisse en ouvrant la soupape à double siège, le levier de déclic *akx*, guidé par le galet *o*, pivote autour de *a*, de telle sorte qu'à un certain instant ce levier de déclic abandonne le

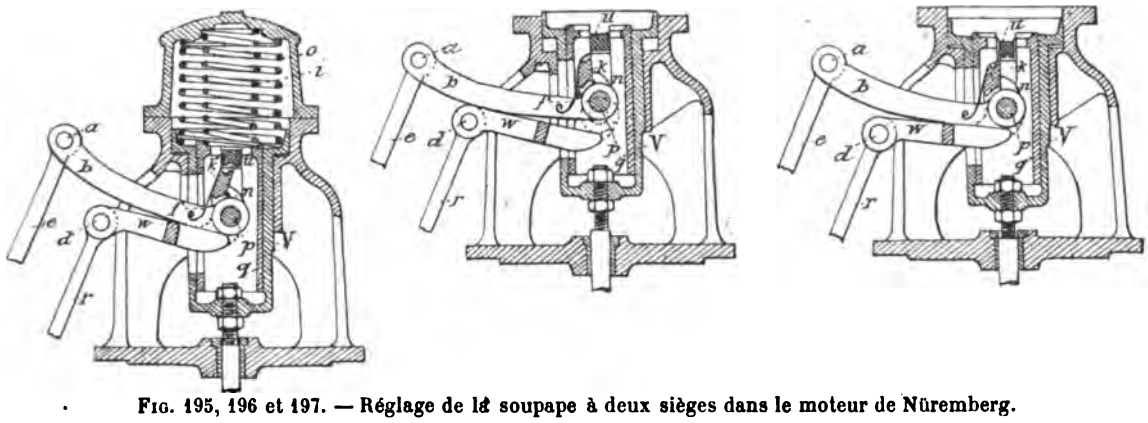


Fig. 195, 196 et 197. — Réglage de la soupape à deux sièges dans le moteur de Nüremberg.

levier *b*; le ressort *f* agit alors pour refermer la soupape à double siège et le levier *b* revient à sa position primitive.

Le galet *o* étant fixe, la fermeture de la soupape se fait toujours au même moment de

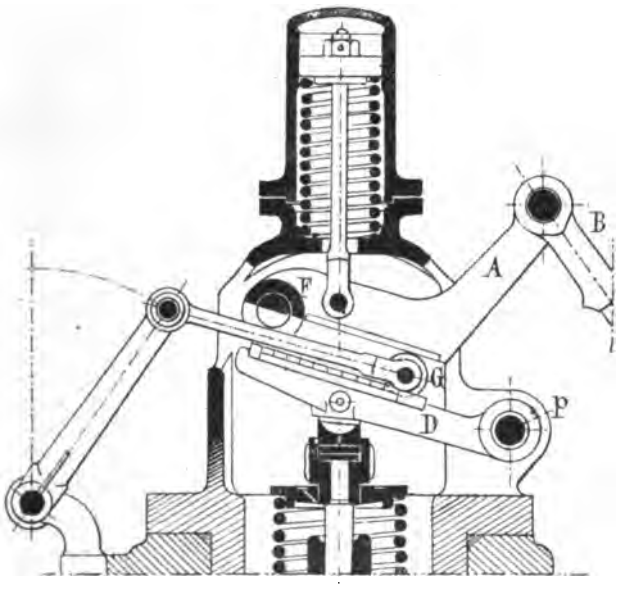


Fig. 198. — Mécanisme de distribution du moteur à simple effet de Nüremberg.

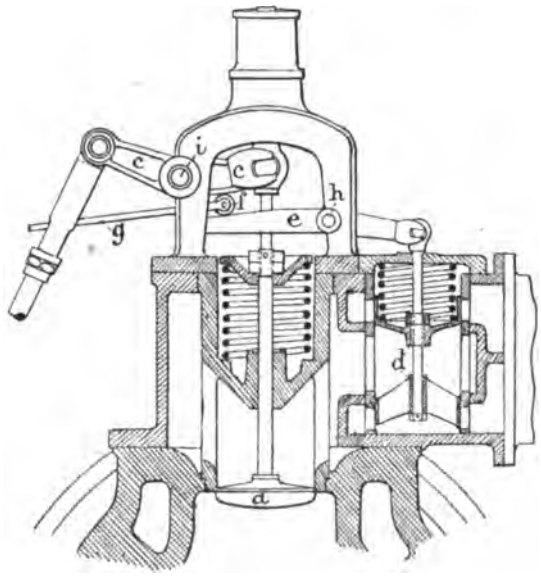


Fig. 199. — Réglage Deutz-Langen.

la course de la tige d'excentrique *e*. Mais on voit que l'ouverture de cette soupape se fera d'autant plus tôt et sera d'autant plus grande que le levier W sera plus relevé. Ce levier pivote autour de l'axe *p*, et son inclinaison est commandée par le galet *r* qui tourne autour d'un axe *d* et peut être amené dans la position *r'*; la figure 194 montre que, dans cette dernière position, le levier *b* ouvrira plus tard la soupape à deux sièges que lorsqu'il est dans la position de la figure 193. Or le mouvement du galet *r* est justement produit par le régulateur qui, au moyen d'une tige, agit sur la commande *i*.

Digitized by Google

Un dash-pot empêche la soupape à deux sièges de choquer contre son siège en retombant. Enfin, la tension du ressort *f*, qui ramène cette soupape sur son siège, peut être réglée au moyen de la tige *l* terminée par un carré.

19. Réglage par mélange de composition variable, admission totale et compression constante. — Deuxième type de réglage à déclic des moteurs de Nüremberg. — Les figures 195, 196, 197 représentent le nouveau dispositif de commande à déclic de la soupape équilibrée à deux sièges employé par la Société de *Nüremberg*.

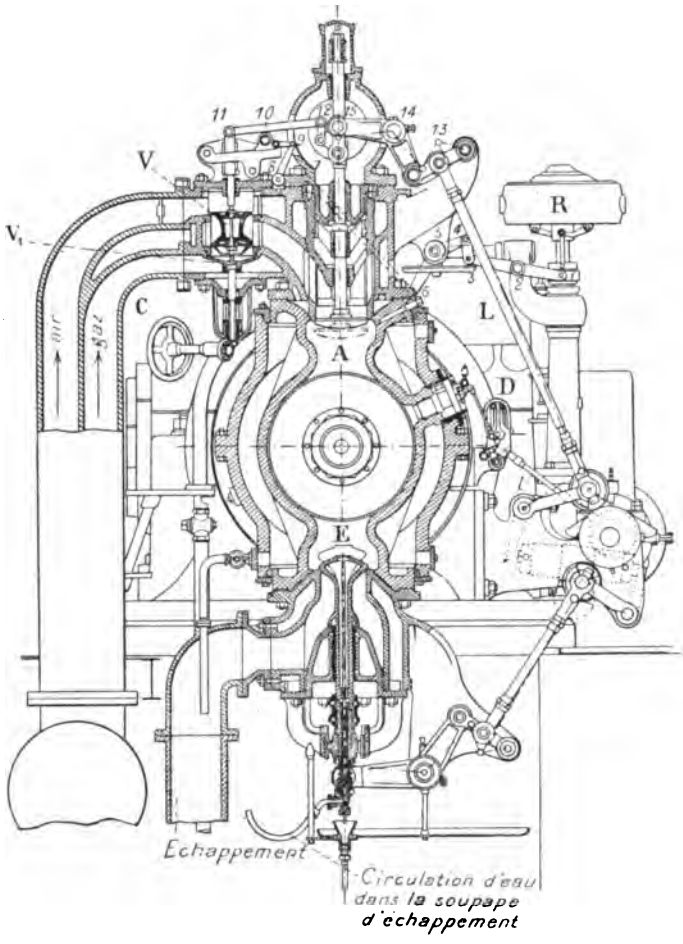


Fig. 200. — Réglage des moteurs de Deutz.

Le cadre V, qui supporte la tige de la soupape, est soulevé, malgré le ressort *o*, par le levier *b* portant un doigt *k* appuyé sur son talon *n*. Le levier *b* est commandé lui-même par la tige d'excentrique *e*. Lorsque l'excentrique de distribution tire sur la bielle *ae*, le levier *bp*, pivoté en *a*, roule sur le bras W (*fig.* 195). Dans ce mouvement, le doigt *k* soulève le toc *u* et, par suite, la soupape; à un moment donné, le doigt *k* lâche le toc *u* et le ressort *o* ferme la soupape V (Voir sur la figure 196 cet instant où le doigt *k* lâche le toc *u* et où la soupape se ferme).

Lorsque *p* descend, et, par suite, que la tige d'excentrique remonte, le déclic *k*, glissant d'abord sur *u*, pivote autour de *p* de droite à gauche en quittant son talon *n*. Lorsque la descente de *p* est suffisante pour que le doigt *k* puisse revenir à sa position primitive (appuyé contre le talon *n*), le ressort *f*, qui a été comprimé dans la rotation du doigt *k* autour de l'axe *p*, se détend et ramène le doigt *k* contre le talon *n* (sur la figure 196, on voit le moment où ce mouvement du doigt *k* se produit). On voit que, dans ce dispositif, la fermeture de la soupape V se fait toujours au même instant du mouvement du levier *bp*. Mais le moment de l'ouverture de cette soupape et la grandeur de l'ouverture dépendent de la position plus ou moins horizontale du bras W. Comme le montre la figure 197, lorsque le levier *e* s'abaisse, le doigt *k* rencontre d'autant plus rapidement le toc *u* que le bras W est plus relevé et plus rapproché de l'horizontale. Or le mouvement de ce bras W, pivoté autour de *d*, est produit par la tige *r* en relation avec le régulateur.

Ce mode de régulation exige que le levier *b* s'appuie constamment sur le bras W. On obtient ce résultat en plaçant l'axe *p* dans un manchon *q* pressé par le ressort *i* (*fig.* 195).

Digitized by Google

20. Réglage par mélange de composition constante, admission variable et compression variable. — Troisième type de réglage des moteurs de Nüremberg. — Dans le moteur de *Nüremberg à simple effet* (puissances inférieures à 100 chevaux par cylindre), on emploie un autre mécanisme de distribution permettant la variation par le régulateur du volume de mélange admis.

La soupape d'admission est à levée variable sous l'influence du régulateur; mais elle ne sert qu'à fermer le cylindre, à la fin de l'aspiration, pendant les trois temps qui suivent (compression, détente, échappement) ; la proportion d'air et de gaz est réglée par la soupape à deux sièges (un pour l'air, l'autre pour le gaz), dont la levée a la même amplitude que la soupape d'admission. Comme dans les cas précédents, cette soupape est équilibrée et très légère, puisqu'elle n'est pas soumise à la pression motrice.

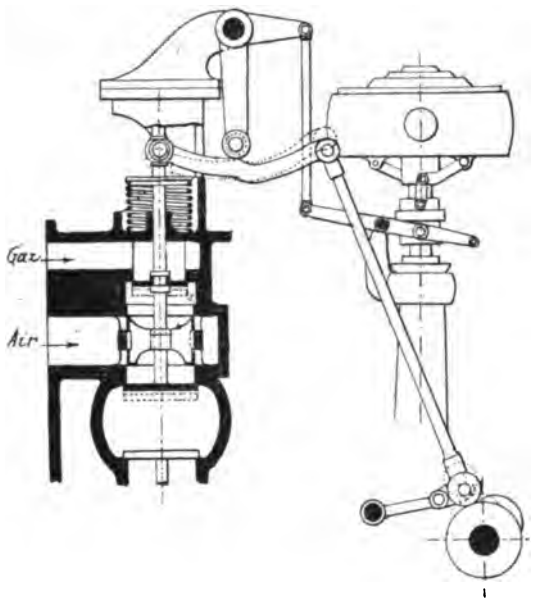


Fig. 201. — Volume maximum introduit (pleine charge).

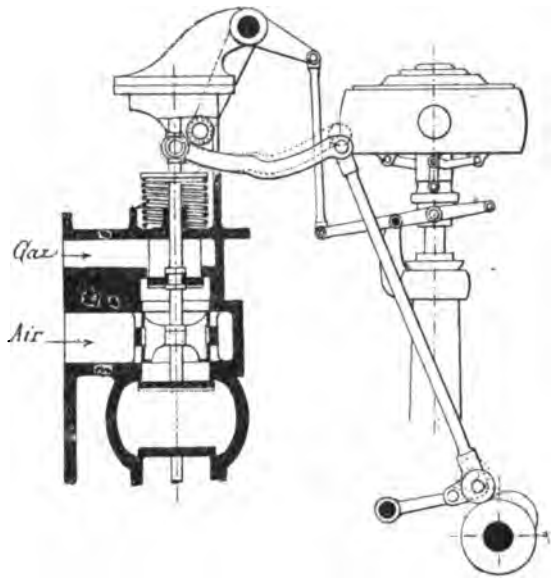


Fig. 202. — Volume minimum introduit (marche à vide).

La figure schématique 198 montre le dispositif mécanique employé pour soumettre à l'action du régulateur la levée des soupapes d'admission et à deux sièges.

Un levier A reçoit un mouvement d'amplitude constante par l'intermédiaire de la came de distribution et de la bielle d'admission B. Les deux soupapes à levée variable sont solidaires d'un autre levier D placé près du premier.

Entre ces deux leviers se déplace, sous l'influence du régulateur, un galet G qui roule sur les deux surfaces trempées des leviers.

La figure 198 montre que l'amplitude de levée des soupapes est d'autant plus grande que le galet G est placé plus près de l'axe *p* du levier D; cette position est celle de l'admission maximum. Inversement, si le galet G est près de F, la levée des soupapes est très faible ; c'est la position d'admission minimum.

21. Réglage par mélange de composition constante, admission variable et compression variable. — Types de réglage des moteurs Deutz. — Le mode de réglage par mélange de composition constante, admission variable et compression variable se rencontre aussi dans les moteurs de la *Gasmotorenfabrik de Deutz.*

Digitized by Google

La figure 199 représente le schéma d'une telle distribution. La soupape d'admission *a* est commandée invariablement par le renvoi *cic*, et la valve double *d* par le renvoi *cfeh* à galet *f* soumis au régulateur en *g*. Sur la figure 200, on voit cette commande du galet 10 faite par le régulateur R et la série de leviers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; la soupape à double siège V est commandée par le mouvement de la tige de la soupape d'admission au moyen du levier 11-12 qui s'appuie sur le galet 10. Le levier L commande d'ailleurs la tige de la soupape d'admission A par 13, 14 et 15.

Les figures 201 et 202 représentent

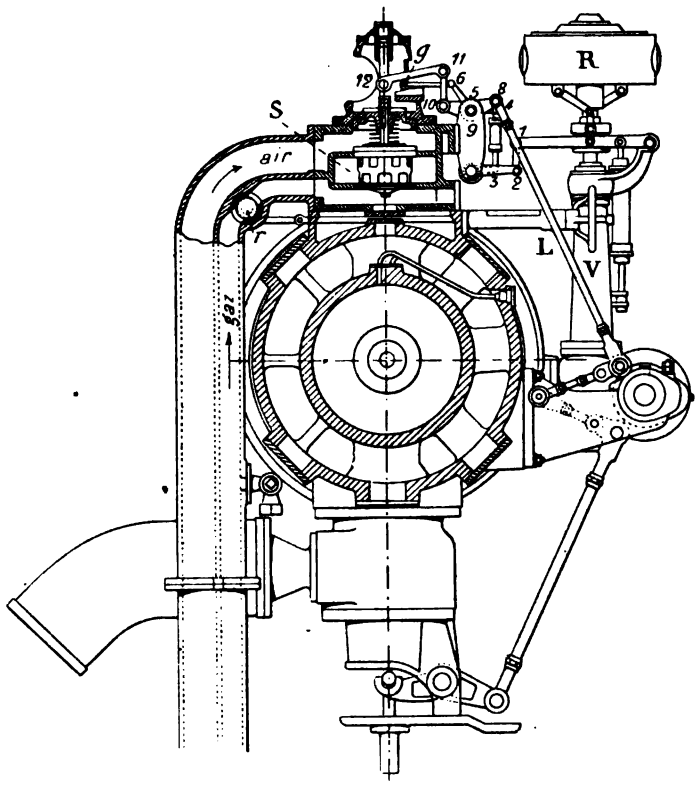


Fig. 203. — Réglage Ehrhardt et Sehmer.

encore un mode de réglage adopté par l'usine de Deutz pour certains de ses moteurs de 1.000 chevaux. Le renvoi qui transmet le mouvement du levier incliné à la tige des soupapes est constitué par un levier du premier genre, dont le point d'appui est variable et se trouve déplacé par le régulateur lui-même; la longueur des bras du levier se modifiant, la hauteur de levée des soupapes change. Le régulateur du système *Hartung* opère sans difficulté, par une série de tringles, ce déplacement du point d'appui, le rapprochant de l'axe des soupapes dès que la vitesse tend à s'accélérer.

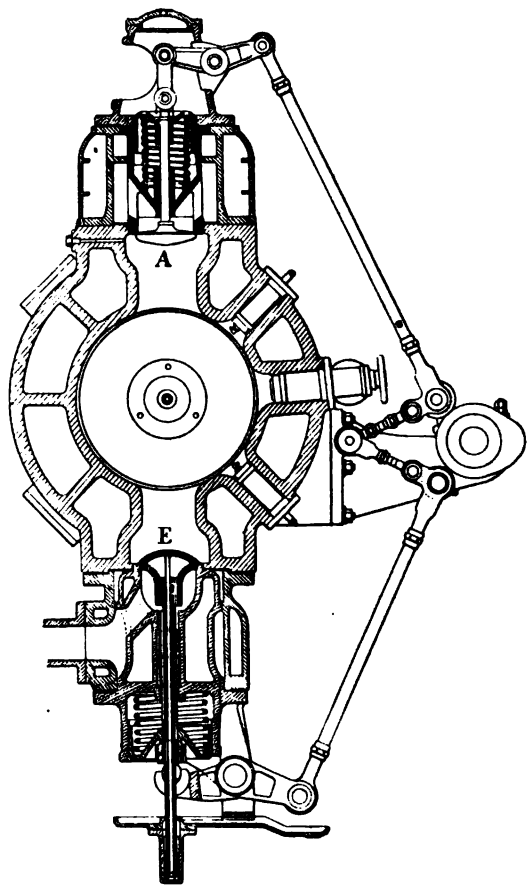


Fig. 204. — Réglage Ehrhardt et Sehmer.

22. Réglage par mélange de composition constante, admission variable et compression variable. — Réglage Ehrhardt et Sehmer. — Le moteur *Ehrhardt et Sehmer* présente, pour la soupape à deux sièges (soupape de mélange) construite comme dans le moteur de Nüremberg, un réglage analogue à celui des moteurs Deutz. Sur la figure 203, le régulateur R commande, par renvoi de leviers 1, 2, 3, 4, 5, 6, le déplacement du galet *g*; le mouvement de la soupape S est produit par le levier L et par le renvoi de

Digitized by Google

leviers 8, 9, 10, 11, 12 (ce dernier levier 11-12 s'appuyant sur le galet *g*). La figure 204 montre d'ailleurs les deux soupapes d'admission A et d'échappement E (avec circulation d'eau) de ce moteur; l'ouverture de ces soupapes se fait au moyen d'une came distincte de la came de commande du levier L de la soupape à deux sièges (*fig.* 203). Sur cette même figure 203, on voit en *r* un appareil mû au moyen de la vis V et qui permet de faire varier la section des gaz suivant la nature du gaz employé.

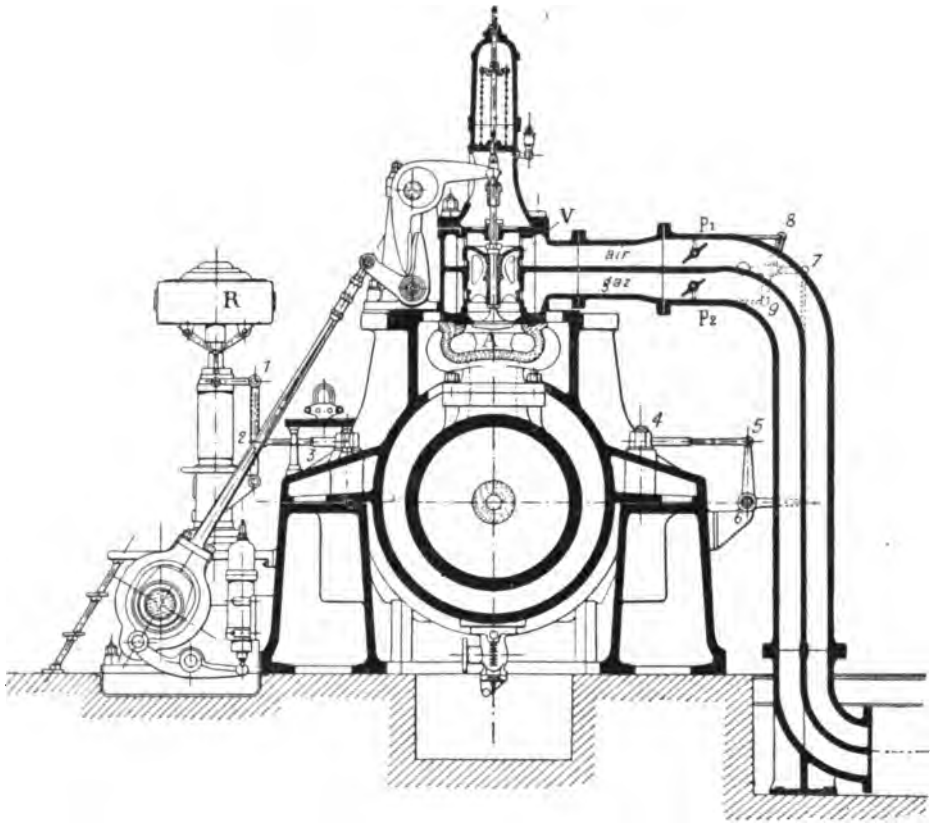


Fig. 205. — Réglage du moteur Krupp (Essen-Ruhr).

23. Réglage par admission variable et mélange de composition constante. — Réglage Krupp. — La figure 205 représente le mode de réglage des moteurs *Krupp* par admission variable et mélange de composition constante. La levée de la valve à double siège V est constante comme celle de la soupape d'admission A; mais le régulateur R agit sur les papillons p_1 et p_2 par l'intermédiaire du système de leviers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

24. Réglage Cail. — Réglage à mélange de composition constante et admission variable. — Le moteur *Cail* de hauts fourneaux construit par la *Société française de Constructions mécaniques* présente aussi un réglage à mélange de composition constante et admission variable. La distribution se fait par une soupape d'échappement, une soupape d'admission *a* (*fig.* 206) et un tiroir mélangeur *g* recevant le gaz par *i* et l'air par *j*. La soupape *a* est commandée invariablement, de l'arbre de distribution *b*, par le renvoi *cdef* et le tiroir mélangeur par le renvoi *cemnop*. Le déclic *ons*, pivoté en *n*, entraîne le bras *p* et permet ainsi l'ouverture du tiroir mélangeur *g*. A un moment du mouvement de levée de ce tiroir et de la soupape d'admission *a*, le doigt *s* rencontre le toc *q*, et fait basculer le déclic autour de *n*. Le levier *p* étant lâché par le déclic, le ressort *t* ramène

Digitized by Google

le tiroir *g* et ferme l'arrivée du mélange de gaz et d'air. On voit sur la figure 206 que la fermeture du tiroir *g* se fera d'autant plus tôt que le doigt *s* rencontrera plus tôt le toc *q*. Or la position du toc *q* est, par le levier *r*, dans la dépendance du régulateur.

25. Distribution Cockerill à compression variable et à mélange de dosage constant. — Comme nous l'avons vu plus haut, le moteur *Cockerill* pour machines soufflantes a une distribution à admission variable. Cette distribution est représentée sur la figure 207. La *tige de la soupape d'admission* traverse la *tige creuse* sur laquelle sont fixés la *soupape à deux sièges* et l'*obturateur à air*. Cette tige est attaquée en haut par un levier actionné par la came de la distribution; elle se *meut de haut en bas* lors de l'ouverture de la soupape d'admission.

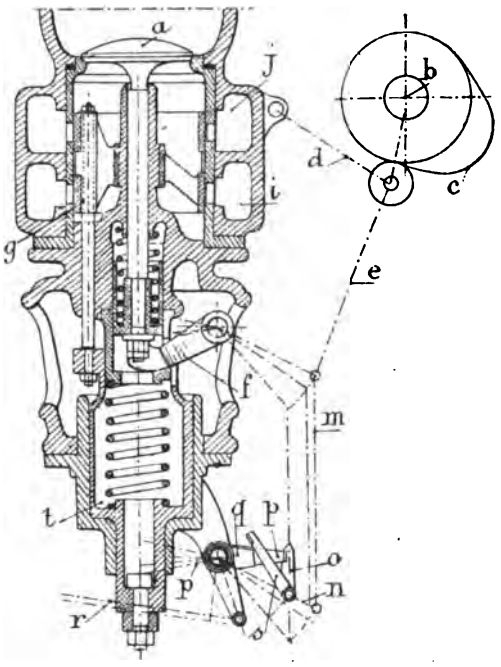


Fig. 206. — Réglage du moteur de la Société française de Constructions mécaniques.

La *soupape à deux sièges*, ainsi que l'*obturateur à air*, dont la course n'est que le quart de celle de la soupape d'admission, *s'ouvrent au contraire en se levant*. Ils reçoivent leur mouvement de levée par un mécanisme à déclic, articulé sur le levier de la soupape d'admission.

Au commencement de la période d'admission, *la soupape d'admission, la soupape à deux sièges et l'obturateur à air s'ouvrent ensemble*.

Le gaz et l'air entrent dans le cylindre dans des proportions bien déterminées. Au moment où le volume introduit dans le cylindre correspond à la puissance à produire, le régulateur agit sur le déclic; la soupape à double siège ainsi que l'obturateur à air se ferment. Pour éviter les chocs qui pourraient résulter de la chute sur son siège de la soupape à deux sièges, la tige creuse qui porte cette soupape est munie d'une cataracte à huile placée concentriquement autour de la boîte à bourrage.

Comme dans ce genre de distribution il se produit, lors des faibles admissions, une forte dépression dans le cylindre, la soupape d'admission et la soupape d'échappement sont maintenues sur leurs sièges au moyen de ressorts serrés par des cames spéciales.

26. Verrouillage de la soupape d'échappement. — Système Cail. — Cette sorte de *verrouillage* de la *soupape d'échappement* est réalisé, comme le montre la figure 208, dans le moteur de hauts fourneaux construit par la *Société française de Constructions mécaniques*.

La soupape d'échappement *a* est commandée de l'excentrique *e* de l'arbre de distribution par le jeu des leviers roulants *c* et *b*. Après la fermeture de la soupape, le levier *c* continue à l'appuyer sur son siège en comprimant davantage le ressort *g*, de manière qu'elle ne puisse s'ouvrir sous l'effet de l'aspiration du moteur. Pendant la course motrice, le levier *c* laisse le ressort *g* se détendre de manière à réduire sa tension au moment de l'ouverture de la soupape. On obtient ainsi une fermeture assurée de la soupape d'échappement avec faible tension de son ressort de rappel au moment de la levée.

Digitized by Google

Le levier *b* porte, articulée en h^1, une biellette *j* avec galet *h*, qui, dans la position

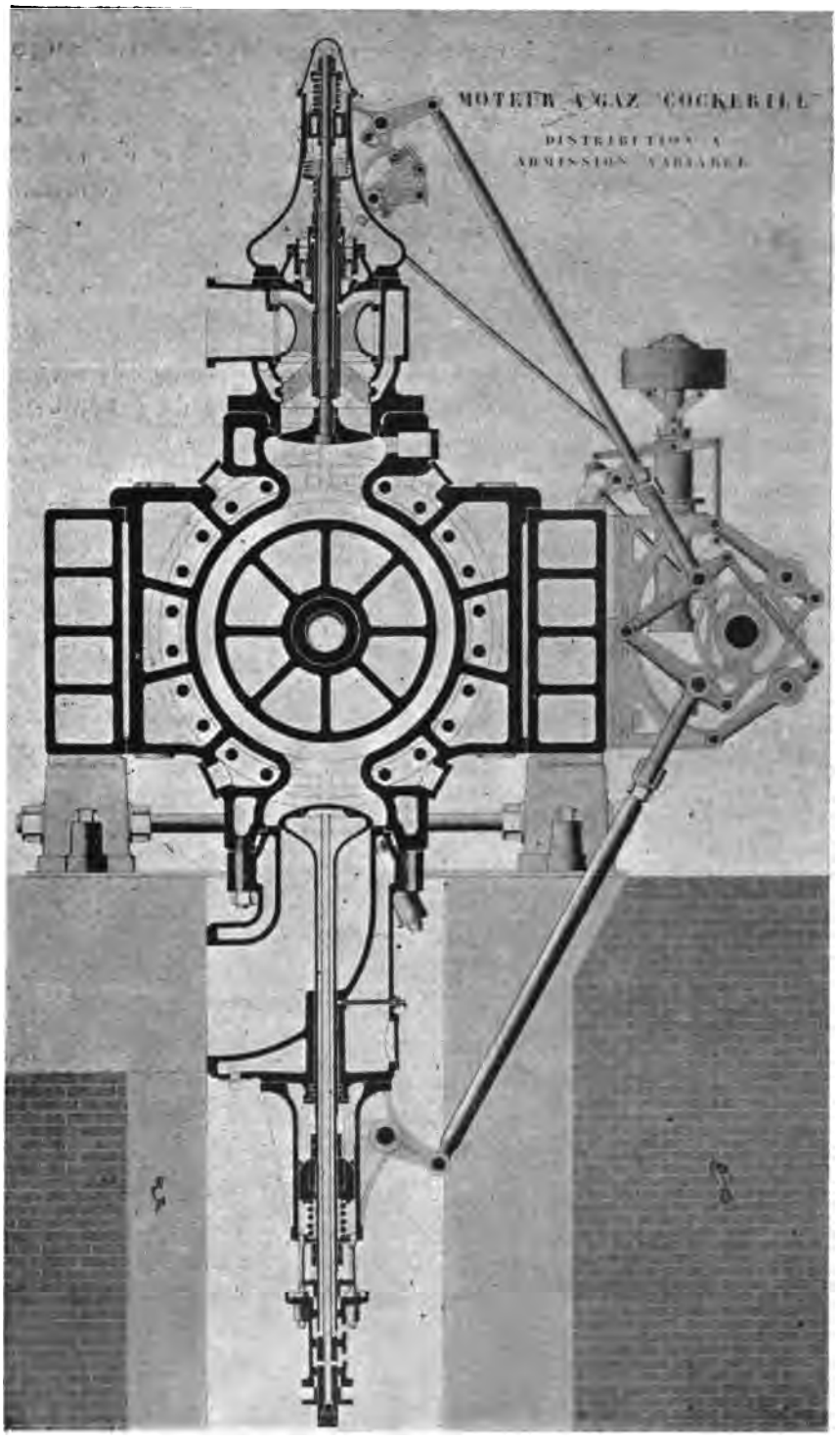


Fig. 207.

indiquée sur la figure 208, est, vers la fin de la compression, repoussée par le toc *o*. La soupape *a* peut alors s'ouvrir, et la compression est diminuée lors de la mise en train du

Digitized by Google

moteur. Une fois la vitesse acquise, on ramène par k le galet h, dans la position h^2, où il cesse d'être rencontré par le toc o.

27. Distribution Cockerill à compression constante et mélange de dosage variable. — *L'obturateur d'air est fixé sur la tige de la soupape d'admission et s'ouvre avec celle-ci vers le bas*, tandis que *la soupape à deux sièges, s'ouvrant également vers le bas, est fixée seule sur la tige creuse* et est maintenue sur son siège *par un levier à déclic*. Cette distribution est représentée sur les figures 209, 210, 211.

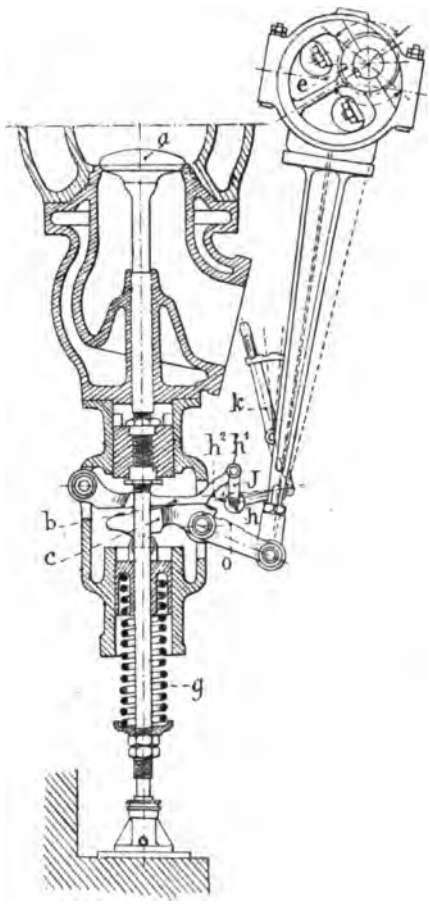


Fig. 208. — Distribution Cail. Verrouillage de la soupape d'échappement.

La soupape d'admission a (*fig.* 211) est commandée, de l'arbre de distribution n et de la came f, par le renvoi ghj. Elle entraîne avec elle l'obturateur d'air c permettant à l'air venant de d de pénétrer dans le cylindre. Le gaz arrive du conduit p par la valve à deux sièges q, dont la tige creuse r entoure la tige b qui commande les soupapes a et c.

Quand la tige b s'abaisse, elle ouvre les soupapes a et c; de l'air seul entre dans le cylindre; en même temps le ressort t est comprimé entre le rebord u fixé à la tige b et le rebord v qui fait partie de la tige creuse r sur laquelle est fixée la valve à deux sièges. Le rebord v est d'ailleurs arrêté en y par le levier x. Celui-ci est maintenu par le déclic 3-4. A un moment donné, la griffe 4 du déclic 3-4-x, commandée par l'excentrique 6 et par le renvoi 7-8-9-10-11, lâche le rebord 3. Le levier x cesse de maintenir le rebord v; le ressort t comprimé pousse alors le tube r et ouvre la prise de gaz q. Cette ouverture est limitée par la course du cylindre du dash-pot 5, dont la résistance est réglée par la fente 18. La fermeture des valves a, c et q se fait par le rappel des ressorts o et du dash-pot 5. Si la soupape a n'est pas fermée alors que la valve q l'est déjà, la continuation de la levée de b par son ressort o, et, par suite, celle de yv par l'intermédiaire du levier x et du dash-pot 5, comprime le ressort 19, qui permet ce mouvement relatif de yv sur b, après l'immobilisation de la tige r par la fermeture de la valve q. Dans le mouvement inverse, le ressort 19, en se détendant, porte la pièce yv au contact du tube r et produit, au moment voulu, la descente de ce tube et l'ouverture de la valve q.

Le régulateur agit sur le déclic 3-4-x en modifiant, par l'excentrique 21, la position du point de pivotement 22 du levier 8. Suivant que le point de pivotement s'approche ou s'écarte du levier 8, le déclic se fait plus tôt ou plus tard : en effet, le rapprochement du point de pivotement revient à diminuer de longueur le levier d'enclenchement et inversement.

28. Mise en marche par l'air comprimé. — La *mise en marche* des moteurs à grande puissance se fait par de l'*air comprimé* à une pression d'au moins 10 atmosphères. L'air fourni par un petit compresseur est emmagasiné dans un réservoir communiquant avec

Digitized by Google

la soupape de mise en marche. Cette soupape, placée soit dans le couvercle, soit dans une

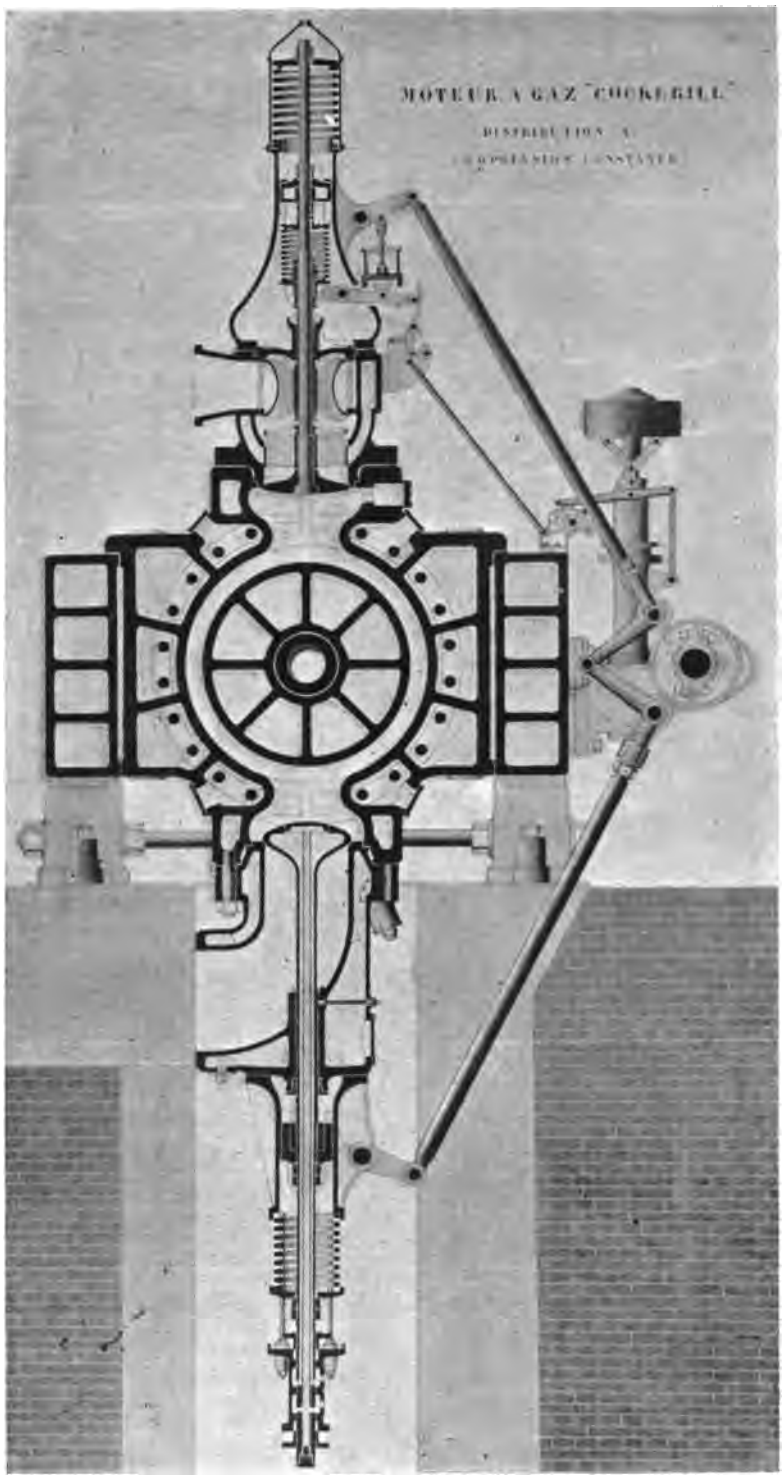


Fig. 209.

des tubulures du cylindre, reçoit son mouvement par une came calée sur l'arbre de distri-

Digitized by Google

bution. Par le déplacement d'un galet roulant sur cette came, le mouvement de la soupape est interrompu dès que la première explosion a eu lieu. Le *vireur* dont nous avons parlé plus haut sert à amener la manivelle au point pour la mise en route du moteur.

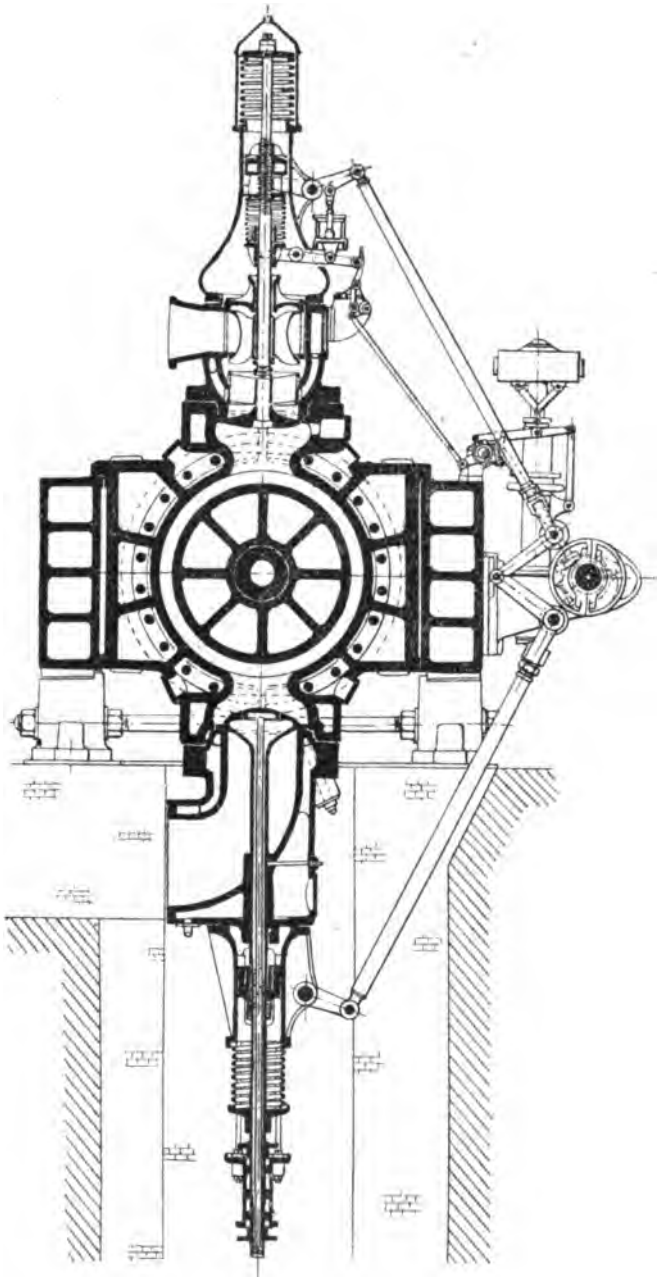


Fig. 210. — Distribution Cockerill à compression constante.

29. Graissage. — Le *graissage* des organes se fait automatiquement à l'*huile minérale* pour les *cylindres*, l'*arbre moteur*, les *bielles* et les *guide-crosses ;* l'*arbre de distribution*, les *colliers d'excentriques* et les *leviers à rouleaux* sont graissés à la *graisse consistante* à cause de leur faible vitesse.

Dans les cylindres, l'huile (généralement du mazout) est refoulée par une petite pompe; les paliers de l'arbre moteur sont munis de bagues de graissage. A la tête de bielle, l'huile arrive, sous l'action de la force centrifuge, par le pivot de manivelle qui est foré; le pied de bielle est graissé par des lécheurs, et les parties frottantes des guide-crosses se meuvent dans des bains d'huile communiquant avec le contenu d'un réservoir ménagé dans le bâti.

30. Allumage électrique. — Dans les grands moteurs, l'allumage est *électrique*. Il consiste à faire éclater dans le mélange gazeux introduit dans le moteur une étincelle d'induction.

Le courant primaire, dont les variations donnent naissance au courant secondaire d'induction et par suite à l'étincelle, peut être produit :

1° *Par des piles ou accumulateurs;*

2° *Par une magnéto ou une dynamo.*

Dans les ouvrages que nous avons publiés sur *les Moteurs à essence pour automobiles* (Paris, Dunod) et sur *la Voiture automobile* (Paris, H. Dunod et E. Pinat), nous avons étudié en détail *l'allumage au moyen de piles ou d'accumulateurs*, *l'allumage par extra-courant de rupture*, *l'allumage par bobine avec production du courant par une dynamo ou une magnéto.*

Actuellement la magnéto a entièrement remplacé les accumulateurs dans la production

Digitized by Google

du courant primaire. L'allumage par extra-courant de rupture, dit allumage par magnéto à basse tension, n'est pas employé dans les grands moteurs à gaz.

31. Divers modes de réalisation de l'allumage par magnéto haute tension. — L'allumage par *magnéto, transformateur et bougie*, dit *allumage par magnéto haute tension*, est actuellement seul usité.

Il peut être réalisé de deux manières différentes :

1° *Ou bien le transformateur est constitué par l'induit même de la magnéto;* nous désignerons ce type de magnéto haute tension sous le nom de type *Simms-Bosch;*

2° *Ou bien le transformateur est séparé de l'induit et de la magnéto;* ce type est désigné sous le nom de type *Eisemann.*

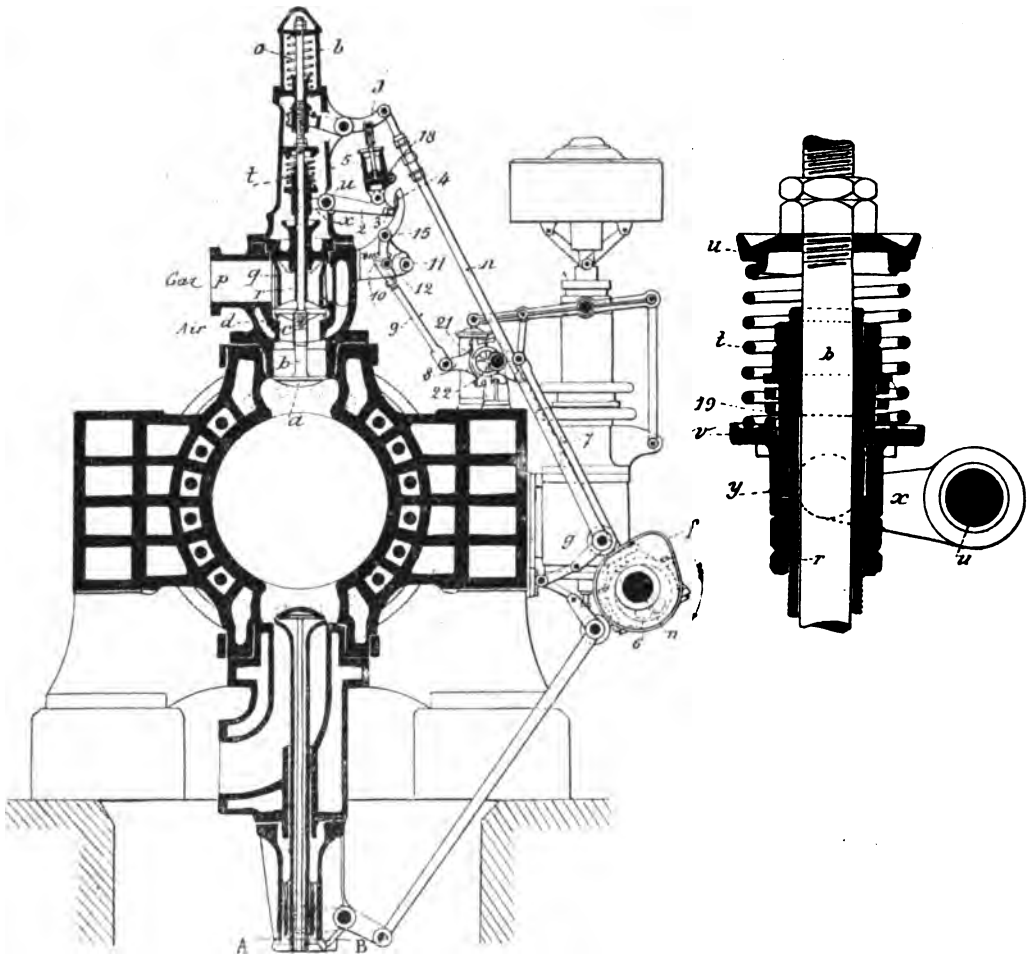


Fig. 211. — Détails de la distribution Cockerill à compression constante.

32. Type Simms-Bosch. — Principe. — Le principe du type Simms-Bosch est représenté sur la figure 212 (1).

L'induit TT, qui tourne entre les pièces polaires de l'aimant NS, porte sur son fer à T un gros bobinage *a* dans lequel se développe le courant primaire; dans le prolongement

(1) Nous engageons le lecteur désireux d'avoir une description détaillée des magnétos dont nous donnerons ici le principe à recourir à l'ouvrage suivant, bien rédigé à ce point de vue :

Baudry de Saunier, *l'Allumage dans les Moteurs à explosions* (chez l'auteur, 20, rue Duret, Paris).

Dans notre ouvrage sur *la Voiture automobile*, nous avons décrit les magnétos *Gianoli*, *Bréguet*, *Nilmelior*, *Lacoste*.

Digitized by Google

de celui-ci, soudé au point *i*, se trouve un bobinage *b* de fil fin dans lequel se développe le courant de haute tension. Les deux bobinages sont ainsi montés en *série*. La came d'interruption du courant primaire est en C; le condensateur est en *v*.

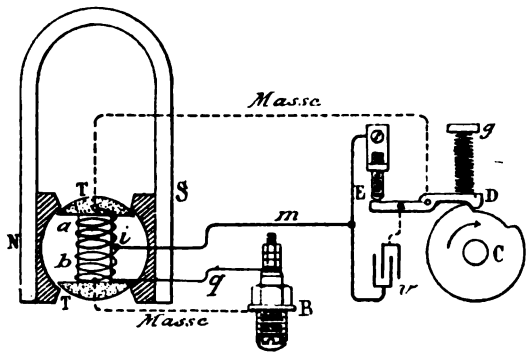


Fig. 212. — Schéma indiquant le principe de la construction de la magnéto Simms-Bosch.

N,S, Masses polaires; — TT, Induit; — *a*, Spires du gros bobinage; — *b*, Spires du bobinage de fil fin; — *i*, Point de jonction des deux bobinages; — *m*, Fil unissant le gros bobinage à la pièce de rupture ED; — E, Vis montée sur une pièce isolée; — *q*, Fil de bougie; — *v*, Condensateur; — C, Came; — *g*, Ressort appuyant la pièce D au contact de la came C.

Le circuit primaire est donc le suivant : le courant part de l'induit, va par la masse au levier ED, et, lorsque le contact est établi en E, revient par *m* et *i* au gros bobinage. Le courant secondaire part de l'induit, va à la bougie B par le fil spécial *q* et revient à l'induit par la masse.

Le fait de la connexion en série des deux circuits primaire et secondaire a pour résultat de produire, entre les deux pôles de la bougie, non pas seulement un flux discontinu d'étincelles, mais un *arc électrique*. Si, avec cette magnéto, on emploie une bougie ordinaire à pointes fines, on constate vite qu'il y a fusion légère du métal, même si ce métal est du platine. Il faut choisir des *bougies à grandes surfaces de contact et rapprocher leurs pôles à peu près à 1/2 millimètre.*

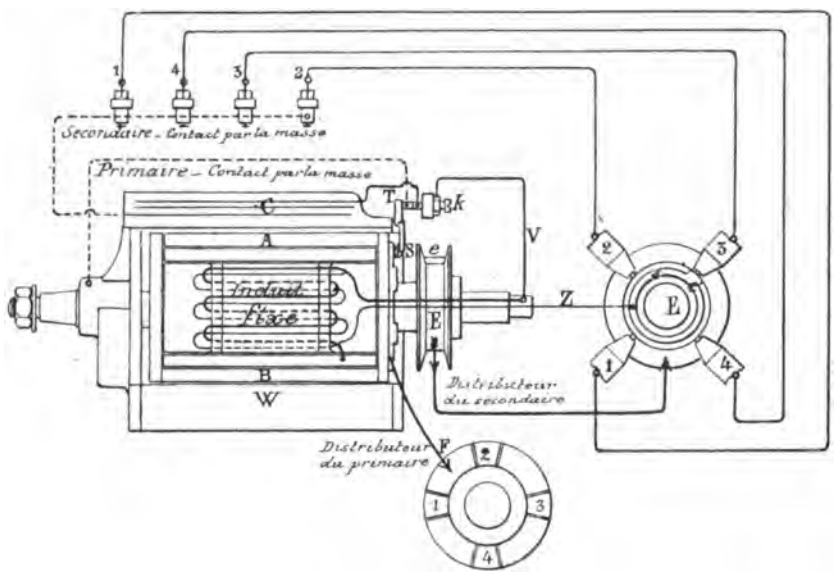


Fig. 213. — Schéma de la distribution du courant primaire et du courant secondaire dans une magnéto à bougies multiples de Simms-Bosch.

AB, Volet tournant; — W, Socle; — C, Condensateur; — S, Doigt de rupture; — T, Point de rupture; — E, Distributeur du secondaire; — V, Pièce conduisant le courant primaire; — Z, Pièce conduisant le courant secondaire.

33. Magnéto Simms-Bosch pour allumage de cylindres multiples. — La magnéto Simms-Bosch pour plusieurs cylindres est un peu plus compliquée que la précédente. Dans cette magnéto, l'induit est fixe; mais entre les pièces polaires de l'aimant et l'induit tourne un *volet en fer doux formé de deux ailes* (Voir la description détaillée d'une magnéto à volet dans notre ouvrage sur *les Moteurs à essence pour automobiles*, p. 329). Les variations de l'aimantation du volet font naître dans un circuit à gros fil bobiné un courant d'induction primaire qui est interrompu et rétabli; dans un circuit à fil fin en série

Digitized by Google

avec le premier naît un courant secondaire, et un arc part entre les deux pôles de la bougie placée dans le moteur.

La figure 213 représente le schéma des distributions des courants primaire et secondaire dans une *magnéto Simms-Bosch pour allumage de quatre cylindres.*

Le volet AB tourne autour de l'induit fixe qui porte à la fois le bobinage primaire et le bobinage secondaire. Le bobinage primaire est, d'une part, relié à la masse par le corps métallique de l'induit; d'autre part, au moyen d'une pièce extérieure V, à la vis platinée *k*. Le courant primaire est tantôt établi, tantôt rompu, par un doigt métallique T qui touche en S un disque à quatre bossages F; ce doigt est relié à la masse. Le disque à quatre bossages F est monté sur une des joues qui portent le volet tournant. Il en résulte qu'un courant primaire naissant quatre fois dans l'induit par tour complet du volet est en même temps, et à des intervalles de temps toujours égaux entre eux, coupé, puis rétabli. Quatre fois par tour le primaire est rompu. Quatre fois par tour un courant secondaire prend naissance dans le bobinage à fil fin. Ce courant secondaire est amené par le conducteur Z à un disque en bronze porté par une pièce isolante E. Cette pièce entraîne en tournant le disque de bronze qui, par le contact métallique *e*, peut venir une fois par tour toucher les charbons 1, 2, 3, 4, isolés les uns des autres et communiquant avec les bougies placées dans les cylindres. Celles-ci reçoivent donc le courant secondaire une seule fois par tour.

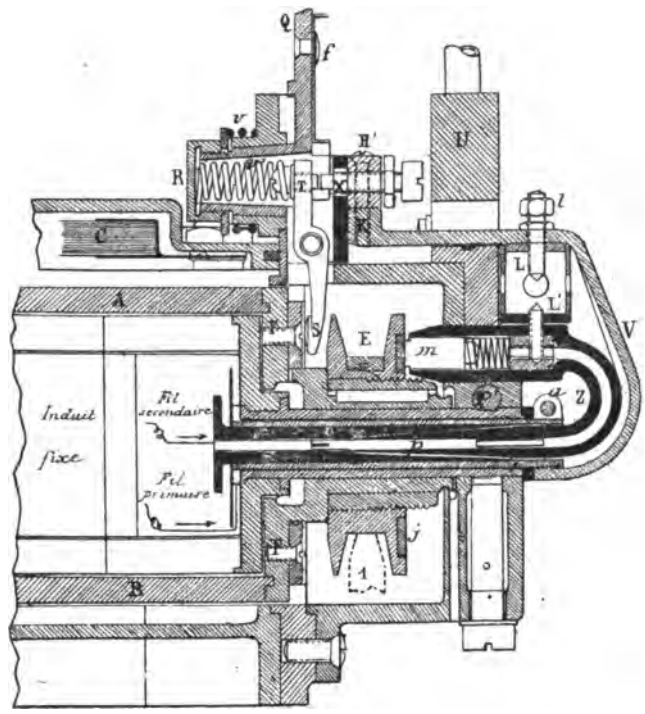


Fig. 214. — Détails de construction d'une magnéto à bougies multiples Simms-Bosch.

AB, Volet tournant; — C, Condensateur; — R, Ressort du doigt; — *v*, Ressort freinant l'écrou contenant le ressort R; — T, X, Points de contact en platine; — Q, Queue pour l'avance à l'allumage; — U, Porte-fiches; — E, Distributeur du secondaire; — *e*, Pièce métallique noyée dans E et en contact avec la face *j*; — *m*, Balai de charbon amenant le secondaire; — Z, Pièce de secondaire; — V, Pièce de primaire; — *p'*, Clavette fixant la douille des pièces démontables; — *a*, Collier de serrage; — *l*, Réglage du parafoudre.

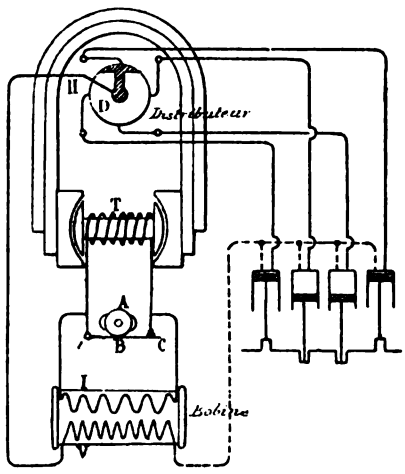


Fig. 215. — Schéma du principe de rupture du primaire avec « coup de bélier » dans la magnéto Eisemann.

H, Arrivée du secondaire à distribuer; — D, Distributeur; — T, Induit tournant; — A, Came à deux bossages produisant deux ruptures par tour (au moment des deux maximums); — B, Lame de rupture; — I, Circuit primaire de la bobine; — V, Circuit secondaire; — *i*, Point d'articulation de la lame; — C, Point de rupture du primaire.

On produit la variation du point de l'allumage en déplaçant le doigt S au moyen du levier Q (*fig.* 214), de manière à faire varier les instants où sont établis les contacts avec le disque à bossages F.

Digitized by Google

La figure 214 représente les détails de construction d'une magnéto Simms-Bosch à bougies multiples.

34. Parafoudre. — A cause du défaut de place, les circuits ne sont pas aussi bien isolés que dans un transformateur ordinaire. Or il peut arriver que l'étincelle ne jaillisse pas à la bougie, soit parce qu'elle a ses pointes trop écartées, soit parce que ses pointes se touchent. Dans ce cas, l'étincelle éclate entre deux spires du secondaire, perce l'isolant et met l'appareil hors de service. On évite cet accident en permettant à l'étincelle d'éclater en un autre point du circuit du secondaire tel qu'il ne se produise aucun dommage pour le transformateur. Ce point du circuit secondaire où l'on provoque l'éclatement de l'étincelle en cas d'avarie aux bougies est le *parafoudre*. Celui-ci est représenté en LL′ sur la figure 214.

35. Principe des magnétos avec transformateur indépendant de l'induit (type Eisemann). — Dans les magnétos du type *Eisemann*, le secondaire n'est pas enroulé sur l'induit. La magnéto sert seulement à fournir un courant primaire qui est envoyé dans un transformateur indépendant de la magnéto.

La figure 215 représente le schéma d'une magnéto Eisemann. L'induit T tourne entre les pôles d'un aimant permanent; on sait que la force électromotrice du courant d'induction est maximum en valeur absolue quand l'induit est dans une position perpendiculaire à celle qui est représentée sur la figure 215. Tant que la force électromotrice du courant primaire n'est pas maximum, le circuit induit T est mis en court-circuit par le fil *i*BC; le courant primaire passe dans le circuit T*i*BC; il ne passe pas de courant dans le primaire de la bobine d'induction. Au moment où la force électromotrice du courant primaire produit par la magnéto est maximum (position à 90° de la figure 215), une came A vient couper brusquement le circuit en *i* en repoussant brusquement la connexion *i*BC. Le courant de la magnéto est lancé brusquement dans le primaire de la bobine : l'intensité du courant dans ce primaire passe donc très rapidement de la valeur zéro à une valeur maximum. Il en résulte dans le secondaire de la bobine un courant d'induction dont l'intensité est d'autant plus grande que la rupture a été plus brusque et que l'on produit plus nettement une sorte de coup de *bélier électrique*. Aussi, dans un grand nombre de magnétos du type Eisemann, emploie-t-on un système à déclic susceptible de produire une rupture plus brusque. C'est le cas des magnétos *Emile Gérard*, qui sont employées sur les moteurs *Cockerill*.

36. Essai d'un moteur Cockerill par MM. Hubert et Witz. — En terminant ce paragraphe, nous allons décrire un essai fait, les 9 et 10 janvier 1906, par *MM. Hubert et Witz*, sur un moteur *Cockerill* à compression constante et mélange de dosage variable, actionnant une dynamo; ce moteur à *quatre temps et à double effet* a une puissance commerciale de 1.400 chevaux.

Ces essais avaient pour objet la détermination de la consommation en calories par cheval-heure indiqué et par cheval-heure effectif du moteur, ainsi que cette consommation par kilowatt-heure du groupe électrogène dans différentes conditions de fonctionnement, notamment en faisant varier la charge du moteur et la composition du mélange admis.

Les observateurs ont relevé dans chaque essai les données nécessaires au calcul de la puissance et de la consommation en gaz et en calories, notamment le *nombre de tours du moteur*, la *durée de l'expérience*, les *éléments de la détermination de la puissance indiquée et de la puissance électrique*, le *volume de gaz consommé*, la *pression et la température du gaz*, enfin la *pression atmosphérique*.

Digitized by Google

Le nombre de tours était indiqué d'une manière continue par un compteur automatique dont l'un des opérateurs relevait les indications à chaque minute, le temps étant mesuré par un chronomètre parfaitement réglé. On s'assurait ainsi de la constance du régime nécessaire pour qu'il n'y eût pas à faire intervenir la variation de force vive du volant et des autres masses dans le calcul de la puissance.

La température et la pression du gaz étaient mesurées dans la conduite à la sortie de la cloche du gazomètre. La pression barométrique était donnée par un baromètre Fortin installé près de celui-ci.

La consommation de gaz était mesurée au moyen d'un gazomètre dont la cloche a une capacité un peu supérieure à 300 mètres cubes, permettant d'alimenter le moteur en pleine charge pendant cinq minutes. Ce temps est un peu court, mais cependant largement suffisant pour permettre des observations précises. Au surplus, les mesures se faisaient quand le moteur avait pris un régime bien régulier, et chaque essai était répété trois fois. La concordance des résultats a témoigné de l'exactitude des chiffres relevés.

La *cloche* était remplie de gaz pris dans la conduite générale venant des hauts fourneaux au moyen d'une pompe mue électriquement. Pendant le remplissage, le moteur maintenu en marche était alimenté par la conduite générale. Lorsque la cloche arrivait au haut de sa course et que les conditions générales de l'essai étaient assurées, un premier signal avertissait les observateurs que l'essai allait commencer. Le moteur était alors isolé de la conduite et mis en communication avec la cloche par la manœuvre d'un registre dont l'étanchéité a été vérifiée, ainsi que celle de la cloche et de la conduite. Cette manœuvre était étroitement surveillée par l'un des observateurs. Dès que la descente de la cloche était devenue régulière, un signal commandait le commencement des lectures. Quatre observateurs notaient de minute en minute la position des quatre index repérant la hauteur de la cloche sur des règles verticales placées aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires. Lorsque la cloche était à peu près vidée, un nouveau signal prévenait les observateurs, et le moteur était remis sur la canalisation générale.

La capacité de la cloche a été déterminée par la mesure de deux diamètres pour chacune des viroles. A cet effet, deux règles normales entre elles ont été établies sur le plafond de la cloche et ont permis de mesurer, au moyen de fils à plomb suspendus à ces règles, les diamètres correspondants. Ceux-ci ne diffèrent que de 0,06 0/0. Ce procédé est plus précis que celui qui repose sur la mesure du périmètre des viroles.

Le pouvoir calorifique du gaz a été l'objet d'expériences nombreuses sur lesquelles nous devons insister, étant donnée l'importance particulière de cet élément pour lequel on ne peut se contenter, dans de semblables mesures, d'approximations insuffisantes. *Il importe de déterminer ce pouvoir par des méthodes qui en donnent la valeur exacte et non des valeurs réduites, par lesquelles on arrive à se leurrer sur le rendement thermique réel des moteurs.* Des échantillons relevés avec soin sur chaque cloche ont été essayés à la bombe eudiométrique et analysés. Les résultats de l'opération calorimétrique directe concordent d'une façon satisfaisante avec ceux des calculs basés sur la composition du gaz, mais la bombe a toujours indiqué un pouvoir calorifique plus élevé. Ce fait s'explique facilement : en effet, la combustion du gaz dans la bombe s'effectuant au moyen de l'oxygène est certainement complète et donne au calorimètre le maximum de chaleur possible, tandis que l'analyse emploie des méthodes d'absorption qui peuvent ne pas être absolument parfaites. D'autre part, les calorimètres à combustion continue qu'on a souvent employés donnent difficilement une combustion complète quand on y brûle des gaz très pauvres comme ceux des hauts

Digitized by Google

fourneaux, et l'on y constate souvent dans ce cas des traces sensibles d'oxyde de carbone dans les produits qui s'en échappent.

Les pouvoirs mesurés à la bombe sont donc maxima, de sorte que les rendements thermiques qui en ont été déduits sont des minima, ce qui permet d'en garantir la réalité. Les pouvoirs déterminés par la bombe sont les pouvoirs supérieurs à volume constant, le gaz étant saturé d'eau à la température d'environ 15° C., et la vapeur étant condensée après combustion à la même température. Le pouvoir calorifique supérieur a été ramené, ainsi que la consommation de gaz, à 0° et à 760 millimètres de mercure.

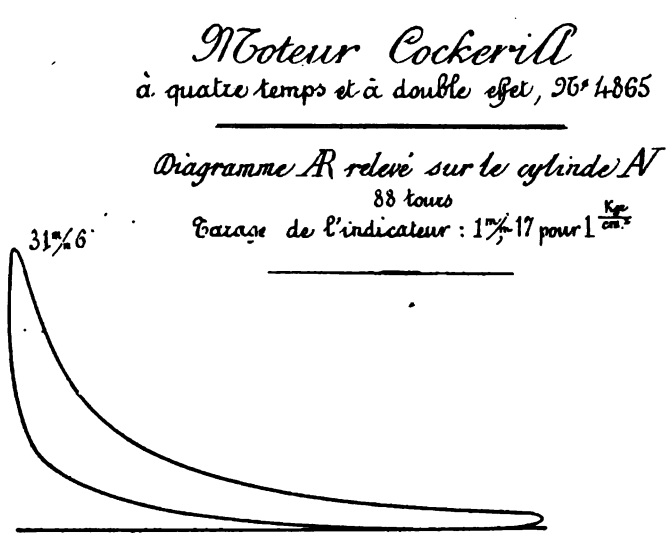


Fig. 216.

Pendant toute la durée des essais, on retirait sur chaque cylindre, et simultanément, le plus grand nombre de diagrammes possible (de 18 à 24 sur chacune des faces des pistons). Les ressorts des quatre indicateurs ont été très soigneusement tarés avant et après les essais. Les diagrammes ont été mesurés au moyen de planimètres vérifiés, et les mesures ont été contrôlées par deux observateurs différents. Ces diagrammes présentent, comme on sait, une surface négative qu'il est impossible d'apprécier, vu le faible écart que donne l'échelle ordinaire entre les courbes d'aspiration et d'émission. Cette surface est donc souvent négligée. Elle a cependant une valeur dont il faut tenir compte; car, dans les diagrammes spéciaux où elle a pu être relevée au moyen de ressorts plus faibles, on a pu constater qu'elle atteignait jusqu'à 3 0/0 du travail positif. Ainsi une puissance de 1.827 chevaux mesurée sur le diagramme ordinaire descend à 1.771 chevaux quand on serre la vérité de plus près. Cette correction, qui a été appliquée ici, a évidemment pour conséquence d'augmenter le rendement organique du moteur, mais, par contre, d'abaisser encore le rendement thermique et d'élever la consommation par cheval indiqué.

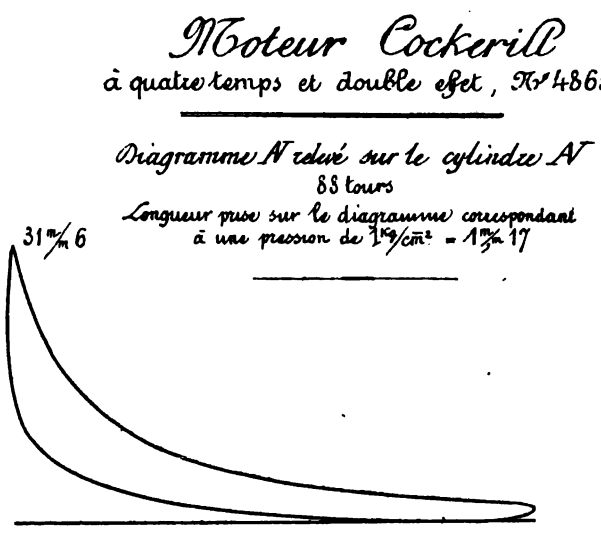


Fig. 217.

Les appareils de mesure électrique consistent en un voltmètre apériodique de précision Chauvin et Arnoux et un ampèremètre Hartmann et Braun apériodique de précision, à cadre mobile, indiquant de 0 à 2.000 ampères. Le premier appareil a été contrôlé à l'Institut électrotechnique Montefiore, et le second contrôlé par comparaison avec un ampère-

Digitized by Google

mètre Chauvin et Arnoux étalonné à l'Institut. C'est le directeur de ce dernier, M. le Professeur Eric Gérard, qui, par la méthode de Swinburne, a déterminé la courbe de rendement de la dynamo génératrice employée dans les essais.

Les résultats des expériences faites, dans les conditions que nous venons de décrire, les 9 et 10 janvier 1906, sont consignées dans le tableau XXX (p. 288), où on n'a fait figurer que les moyennes de chacun des groupes de trois essais.

Les figures 216 à 219 représentent des diagrammes relevés dans un des essais sur les deux cylindres du moteur.

Les essais n°s 1, 2, 3 et 4 sont effectués sous des charges croissant depuis le quart de charge (fonctionnement rarement employé) jusqu'à la charge normale, qui est environ 1.500 chevaux effectifs. La pression moyenne s'est élevée de $1^{kg},79$ à $4^{kg},95$, ce dernier résultat étant obtenu au moyen d'un gaz dont le pouvoir calorifique supérieur n'était que de 943 calories.

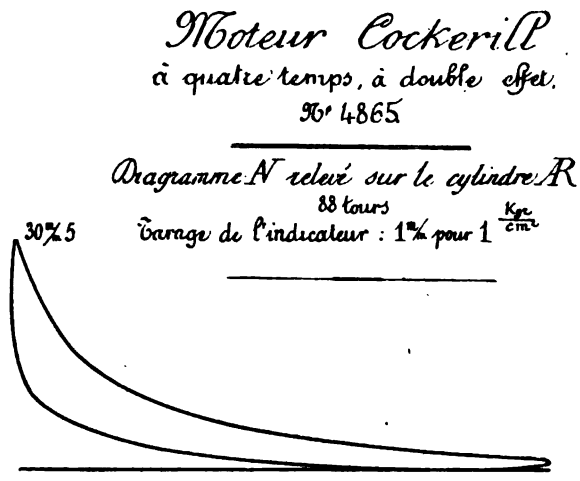


Fig. 218.

Cette pression moyenne de 5 kilogrammes environ mérite d'être signalée. Elle correspond à une compression d'environ 14 kilogrammes. Il convient de remarquer que la vitesse dans le quatrième essai est descendue à 91,25 tours par minute à la suite d'une modification du régulateur, nécessitée par un léger accident qui est survenu à cet organe au cours des expériences.

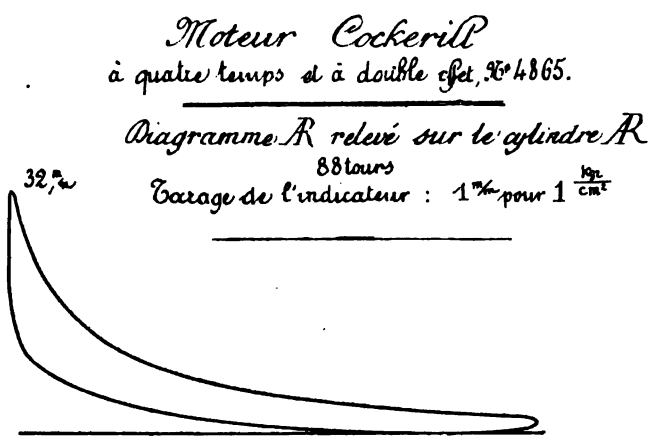


Fig. 219.

L'essai n° 5 correspond à une dilatation plus grande du mélange tonnant qui a un peu diminué la pression moyenne.

L'essai n° 6 peut être considéré comme effectué à surcharge, bien que le régulateur ne déterminât pas encore des admissions pleines aux quatre effets.

Des rendements organiques très élevés ont été obtenus surtout dans les essais n°s 4 et 5. Il faut rappeler à ce sujet qu'il a été tenu compte, pour les déterminer, de la partie négative du diagramme mesurée sur les diagrammes spéciaux et qui varie très peu. Cette correction a d'ailleurs eu pour effet d'augmenter la consommation de gaz par cheval indiqué.

Malgré cela, la consommation de 2.155 litres de gaz par cheval-heure indiqué, correspondant à 2.392 litres par cheval effectif et par heure, n'en reste pas moins remarquable et mérite d'arrêter l'attention; ce sont des chiffres rarement atteints. Les consommations en calories sont tout aussi dignes de remarque, étant donné qu'elles sont rapportées au pouvoir supérieur déterminé par la bombe dans l'oxygène, donc à une combustion rigoureusement complète et sans déduction de la chaleur latente de la vapeur d'eau. Dans ces

Digitized by Google

TABLEAU XXX

RÉSUMÉ DES ESSAIS FAITS SUR UN MOTEUR COCKERILL PAR MM. HUBERT ET WITZ

NUMÉRO DE L'ESSAI	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	PRESSION MOYENNE au DIAGRAMME	PUISSANCE EN CHEVAUX			RENDEMENTS			CONSOMMATION DE GAZ à 0° et 760 mm				POUVOIR CALORIFIQUE SUPÉRIEUR DU GAZ	CALORIES CONSOMMÉES PAR HEURE			RENDEMENT THERMIQUE travail indiqué / chaleur dépensée	CHALEUR ABSORBÉE par l'eau DE CIRCULATION (1)
			INDIQUÉS	EFFECTIFS	ÉLECTRIQUES	ORGANIQUE du moteur	DE LA GÉNÉRATRICE	du groupe ÉLECTROGÈNE	PAR HEURE	PAR CHEVAL-HEURE indiqué	effectif	électrique		par cheval indiqué	par cheval effectif	par cheval électrique		
						p. 100	p. 100	p. 100									p. 100	p. 100
1	103,11	1kg,7907	657,45	349,17	311,3	53,1	89,1	47,3	2808,08	4.272	8.043	9.028	979	4182,3	7874,1	8838,4	15,19	16
2	101,30	3 ,4673	1250,48	986,0	917,5	78,8	93,1	73,3	3142,20	2.513	3.187	3.425	979	2460,2	3120,1	3353,1	25,82	
3	100,04	4 ,1068	1463,88	1332,7	1250,7	91,1	93,8	85,4	3385,97	2.313	2.540	2.707	963	2227,4	2466,0	2606,8	28,52	16,2
4	91,25	4 ,9518	1607,74	1494,8	1404,7	92,97	94,0	87,4	3732,95	2.325	2.497	2.657	943	2192,5	2354,7	2505,6	28,98	
5	93,80	4 ,7004	1569,45	1466,15	1377,5	93,4	93,9	87,76	3527,00	2.247	2.406	2.560	983	2208,8	2365,1	2516,5	28,77	20,2
6	94,05	5 ,2425	1755,06	1581,9	1487,7	90,0	94,0	84,7	3782,05	2.155	2.392	2.542	988	2129,1	2363,3	2511,5	29,84	

(1) La mesure des quantités d'eau provenant des nombreuses divisions de la circulation exige un temps assez long s'étendant sur plusieurs essais. Les chiffres indiqués sont donc des moyennes et sont donnés à titre d'indication.

Digitized by Google

conditions, le rendement thermique de 30 0/0 environ doit être considéré comme excellent.

La consommation par kilowatt-heure du groupe électrogène donne pour les essais n°s 4, 5 et 6 les chiffres suivants :

N° 4, 3.613 mètres cubes	.....	3.408 calories
N° 5, 3.479 —	.....	3.420 —
N° 6, 3.457 —	.....	3.415 —

Il convient encore de signaler l'augmentation relativement faible de la consommation lorsque la puissance effective descend aux 2/3 de sa valeur normale. Elle est un peu supérieure à 12 0/0 pour le travail indiqué et à 33 0/0 pour le groupe électrogène.

III

LES MOTEURS A DEUX TEMPS

1. Types de moteurs à deux temps employés dans l'industrie sidérurgique. — Les moteurs à deux temps employés actuellement dans l'industrie sidérurgique appartiennent à deux types :

1° Le *type Œchelhäuser* à simple effet et à deux pistons conjugués se déplaçant dans un même cylindre ;

2° Le *type Kœrting* à double effet et à un seul piston se déplaçant dans un cylindre.

Ces deux types vont nous fournir des exemples de la manière dont peuvent être résolues les difficultés que l'on rencontre dans le fonctionnement à deux temps.

2. Principe du fonctionnement à deux temps. — Rappelons ici quel est ce mode de fonctionnemen.

Imaginons que, dans un cylindre appelé *cylindre-moteur* ou *cylindre de travail*, nous ayons introduit un mélange gazeux de composition convenable. Le piston qui se trouve à l'une des extrémités de sa course revient en arrière et comprime ce mélange. L'allumage a lieu ; le piston est repoussé et, au moment de revenir à sa position primitive à fond de course, il découvre des orifices par lesquels se dégagent les gaz brûlés. En même temps, par l'autre extrémité du cylindre, des *pompes* font arriver des gaz frais, qui aident à la chasse des gaz brûlés et remplissent le cylindre. Leur arrivée cesse au moment où le piston du cylindre-moteur vient fermer les orifices d'échappement qu'il avait découverts dans la course précédente. Tout est ainsi revenu à l'état primitif au moment où va commencer la compression du mélange introduit dans le cylindre-moteur. Deux courses du piston moteur ou un tour de l'arbre de la machine ont donc suffi pour introduire le mélange tonnant dans le moteur, l'y enflammer et produire la détente motrice. De là le nom de *fonctionnement à deux temps* donné à la série de ces transformations.

3. Distinction entre le fonctionnement à deux temps et le fonctionnement à quatre temps. — Comme on le voit, une fois que le mélange gazeux de composition convenable est introduit dans le cylindre-moteur, tout se passe dans le fonctionnement à deux temps comme dans le fonctionnement à quatre temps. La distinction entre les deux

Digitized by Google

modes de fonctionnement se produit au moment de l'évacuation des gaz brûlés et de l'introduction d'une nouvelle quantité de mélange frais.

Dans le moteur à quatre temps, l'aspiration du mélange frais et l'évacuation des gaz brûlés se font chacune pendant toute la durée d'une course du piston.

Dans le moteur à deux temps, ces deux opérations doivent se faire à la fin de la course de détente et au début de la course suivante. Elle doivent avoir lieu *dans une période très courte qui précède et qui suit le changement de course du piston.* C'est un point sur lequel nous allons tout particulièrement insister, car le mode de construction du moteur est une conséquence même de sa réalisation.

4. Étude du diagramme d'un moteur à deux temps dans le voisinage du changement de course correspondant à l'évacuation des gaz brûlés. — Représentons sur la figure 220 la partie du diagramme d'un moteur à deux temps qui correspond à cette période d'évacuation des gaz brûlés et de réadmission de mélange frais.

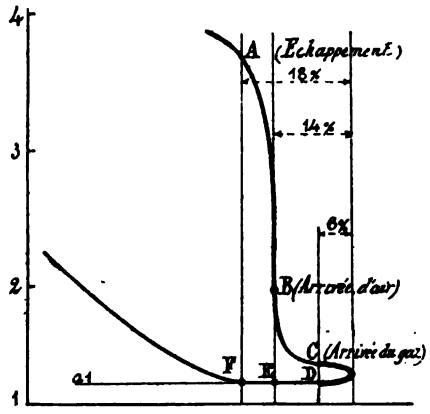


Fig. 220. — Partie du diagramme d'un moteur à deux temps qui correspond à la période d'évacuation des gaz brûlés et d'admission du mélange frais.

Au point A de la course de détente du piston moteur, alors que ce piston a encore à parcourir environ 20 à 25 0/0 de cette course, s'ouvrent les orifices d'évacuation des gaz brûlés. Au point B, lorsque le piston moteur doit encore parcourir les 14 à 15 0/0 de sa course, s'ouvrent à l'autre extrémité du cylindre des orifices d'arrivée d'air; celui-ci chasse devant lui les gaz brûlés. Au point C tel que le piston moteur ait encore à parcourir 3,5 à 6 0/0 de sa course, s'ouvrent les orifices d'arrivée du gaz; comme les orifices d'arrivée de l'air sont toujours ouverts, un mélange de gaz et d'air de composition déterminée pénètre dans le cylindre. Le piston moteur arrive à l'extrémité de sa course de détente, puis il revient en arrière. Au point D, quand ce piston moteur a parcouru 3,5 à 6 0/0 de sa nouvelle course, les orifices d'arrivée du gaz se ferment. Du point D au point E, les orifices d'arrivée d'air restent ouverts et une petite quantité d'air pénètre dans le cylindre derrière le mélange de gaz et d'air. Enfin, au point F, les orifices d'évacuation se ferment et la compression du mélange frais introduit dans le cylindre commence. A partir de ce moment le fonctionnement à deux temps est identique au fonctionnement à quatre temps.

La figure 221 représente schématiquement, au moyen de deux pistons p_1 et p_2 se rapprochant et s'écartant simultanément l'un de l'autre, les différentes phases de l'évacuation des gaz brûlés et de l'introduction du mélange frais que nous venons d'analyser. L'ordre dans lequel se rangent de gauche à droite les diverses couches d'air d'une part, de mélange de gaz et d'air d'autre part, montre comment se sont succédé les diverses phases de l'introduction du mélange frais.

a) *Phase de chasse d'air pur* [de B à C (*fig.* 220)], dite aussi phase de *rinçage;*

b) *Phase d'introduction du mélange de gaz et d'air* [de C à D (*fig.* 220)];

c) *Phase d'introduction nouvelle d'air pur* [de D à E (*fig.* 220)].

5. Les phases d'évacuation des gaz brûlés et d'introduction du mélange frais se font pendant un temps très court. — Conséquences. — Comme on le voit

Digitized by Google

sur la figure 220, les différentes phases d'évacuation des gaz brûlés et d'introduction des gaz frais (de A en F) ne se font que pendant une faible partie de la course du piston moteur. La première chasse d'air pur (phase de rinçage) a lieu pendant les 10 à 11 0/0 de sa course; la phase d'introduction du mélange de gaz et d'air, pendant les 7 à 12 0/0 de cette course. On conçoit dès lors combien sont petits les intervalles de temps que durent ces phases, lorsque le moteur tourne à des vitesses normales de 80 à 100 tours par minute. Il est vrai que ces opérations se réalisent au moment où le piston moteur est à sa vitesse minimum; mais, même dans ces conditions, les durées de ces phases atteignent à peine 1/10 de seconde, elles sont souvent comprises entre 3/100 et 8/100 de seconde.

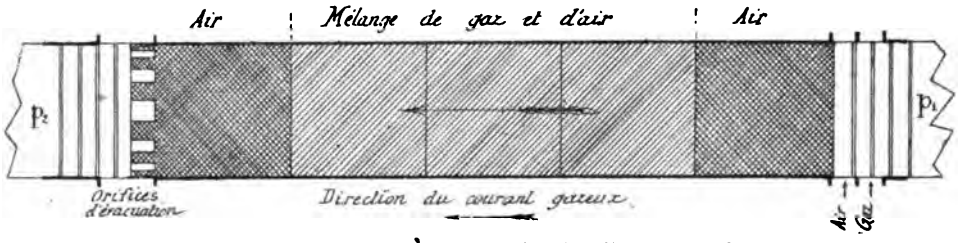


FIG. 221. — Schéma montrant la stratification des diverses couches gazeuses à l'intérieur du cylindre d'un moteur à deux temps.

Il résulte immédiatement de là :

1° *Que l'addiction de l'air et du mélange de gaz et d'air ne peut se faire qu'au moyen de pompes indépendantes du cylindre-moteur;*

2° *Que les orifices d'évacuation d'une part, ceux d'amenée de l'air et du mélange de gaz et d'air d'autre part, doivent avoir de très grandes dimensions.*

6. Les orifices d'évacuation d'un moteur à deux temps doivent être très larges. — En premier lieu, le fonctionnement d'un moteur à deux temps exige des *orifices d'évacuation très larges.*

En effet, l'expérience a montré que le balayage des gaz brûlés par l'air pur doit, pour être efficace, se faire avec une masse d'air maintenu à une tension *aussi basse que possible.* L'air à haute tension entre avec une grande vitesse dans le cylindre-moteur, rebondit contre les parois intérieures en donnant lieu à des tourbillons assez violents pour mélanger de tous côtés, dès le début, les gaz résiduels avec l'agent de balayage; ces gaz restent alors avec la charge et peuvent donner naissance à des explosions anticipées. Si l'on veut que, pendant la phase de rinçage, l'air pénètre dans le cylindre-moteur en une sorte de colonne ininterrompue qui pousse devant elle les gaz résiduels, il faut que cet air n'arrive pas avec une vitesse trop grande et, par suite, n'ait qu'une faible pression.

Il est donc absolument nécessaire que le balayage ne se produise qu'au moment où l'échappement est presque terminé, lorsque l'excès de pression qui s'exerce dans le cylindre est suffisamment petit. Il faut donc, dans un temps très court, qui est de l'ordre de 5/100 de seconde, abaisser l'excès de pression de 2 à 3 atmosphères à une valeur aussi petite que possible, 1/2 atmosphère environ. Pour cela *des orifices d'échappement de dimensions considérables sont absolument nécessaires.*

7. Le moteur à deux temps ne peut avoir une distribution d'échappement par soupapes. — La soupape d'échappement, à elle seule, ne permet pas d'obtenir cette suppression de tension, dans le peu de temps qui est généralement disponible. Il faudrait

Digitized by Google

donner à cette soupape une ouverture et une section qui la rendraient impossible à exécuter. Le moteur à deux temps ne peut donc pas, dans la pratique, avoir une distribution d'échappement par soupapes.

8. L'échappement d'un moteur à deux temps doit se faire par une couronne de lumières percées dans les parois du cylindre-moteur. — Cet échappement ne peut se faire que par des *couronnes de lumières percées dans les parois du cylindre, couronnes en relation avec un espace suffisamment grand pour annuler autant que possible la contre-pression à l'échappement.* Le mode de fonctionnement à deux temps impose donc au constructeur un type de distribution d'échappement. C'est ce type que l'on rencontre à la fois dans le moteur Œchelhäuser et dans le moteur Kœrting.

9. Les tensions de l'air de balayage et du mélange de gaz et d'air doivent être aussi petites que possible, afin de diminuer la puissance dépensée dans les pompes. — Nous venons de voir quelques-unes des raisons pour lesquelles la tension du courant d'air de balayage doit être aussi voisine que possible de la pression atmosphérique. Il en est de même de la tension du mélange de gaz et d'air. Plus sont élevées les tensions du courant de balayage et du mélange, plus grande est la puissance à dépenser pour faire mouvoir les pompes, plus grandes sont les pertes de chaleur et les pertes de charge soit dans les conduits allant des pompes au cylindre du moteur, soit dans les orifices d'admission. Plus sont élevées les tensions, plus sont grandes les puissances inutilement dépensées pour comprimer des gaz qui vont ensuite se détendre en arrivant dans le cylindre-moteur.

10. Phénomène de la stratification dans le cylindre-moteur. — D'autre part, des tensions élevées de l'air de balayage et du mélange ne sont pas favorables à la production des couches séparées d'air et de mélange, que nous avons représentées sur la figure 221. Cette succession des couches d'air pur et de mélange de gaz et d'air, à laquelle on a donné le nom de *stratification*, est considérée par tous les ingénieurs allemands comme nécessaire au bon fonctionnement d'un moteur à deux temps. En particulier, il est important qu'il y ait un tampon de gaz inerte (air pur) entre les gaz brûlés et le mélange frais introduit. Dans les moteurs à deux temps, la phase d'admission suit en effet presque immédiatement la phase de détente, tandis que dans les moteurs à quatre temps la course de détente et la course d'admission sont séparées par la course d'évacuation des gaz brûlés, pendant laquelle les parois subissent un certain refroidissement. La phase de rinçage avec de l'air pur, qui suit la suppression hâtive et aussi complète que possible de la tension des gaz de la combustion, doit jusqu'à un certain point jouer le même rôle que la course d'évacuation dans les moteurs à quatre temps. De là l'importance attachée au phénomène de la stratification des couches d'air et de gaz admises dans le cylindre-moteur.

11. Les pompes d'un moteur à deux temps ne doivent pas jouer le rôle de compresseurs; elles sont seulement des organes d'alimentation ou de distribution. — Toutes les raisons que nous venons de développer militent en faveur du fonctionnement avec des tensions du courant de balayage et du courant de mélange aussi voisines que possible de la pression atmosphérique ; de telles tensions permettent seules de réaliser automatiquement la préparation convenable du mélange frais avant sa compression. *Les pompes des moteurs à deux temps ne doivent être que des organes d'alimentation ou de distribution; elles ne doivent jamais jouer le rôle de compresseurs.*

Digitized by Google

12. Un excès de tension de 4/10 à 6/10 d'atmosphère pour les gaz d'alimentation d'un moteur à deux temps est un mal nécessaire. — Toutefois, de faibles tensions de l'air et du mélange nécessitent, pour l'admission dans un temps aussi court que celui qui a été indiqué plus haut, des sections exagérées pour les pompes, les conduites et les organes de distribution. Aussi un excès de tension (sur la pression atmosphérique) de 4/10 à 6/10 d'atmosphère doit-il être considéré comme un mal nécessaire. Mais, dans ce cas, la construction des pompes doit être faite de telle sorte que la dépense de puissance nécessaire pour les actionner et effectuer en pure perte une telle compression soit inférieure à 10 0/0 de la puissance indiquée du moteur à gaz.

13. Admission au moyen de couronnes de lumières percées dans les parois du cylindre-moteur. — Type Œchelhäuser. — Les grandes sections des ouvertures *d'admission* que rend alors nécessaires la durée très courte de cette admission sont réalisées dans de bonnes conditions en employant, comme pour l'échappement, des *couronnes de lumières percées dans la paroi du cylindre*. Ce mode de construction, appliqué dans le type *Œchelhäuser*, présente des avantages sérieux. La stratification se fait dans de bonnes conditions; les admissions de l'air de balayage et du mélange se font avec une grande régularité. Enfin, grâce à la grande section d'ouverture représentée par l'ensemble de ces ouvertures, on peut rapprocher le début de l'introduction de l'air de balayage du point mort extérieur, de manière à assurer, en toutes circonstances, un échappement complet des gaz brûlés et un refroidissement aussi important que possible des parois du cylindre. On est ainsi beaucoup moins exposé à produire des explosions anticipées et on peut introduire une plus grande masse d'air et de mélange que lorsque les parois du cylindre sont à une température élevée. D'ailleurs, avec les couronnes de lumières, on peut cependant, pendant les 10 à 12 0/0 de la course du piston qui restent disponibles, rincer et charger le cylindre-moteur.

14. Emploi d'une soupape pour l'admission. — Type Kœrting. — Il est cependant possible, comme l'a tenté *Kœrting*, d'employer pour l'admission une soupape placée sur le côté du cylindre, à la condition toutefois de donner à cette soupape une grande section d'ouverture et une grande levée, et de produire une prolongation de l'arrivée du mélange lorsque les orifices d'évacuation sont fermés. On éloigne ainsi le début de la compression du point mort correspondant à l'échappement des gaz brûlés; mais cela a moins d'inconvénients dans les moteurs à deux temps que dans les moteurs à quatre temps. Dans ceux-ci, en effet, il y a une dépression pendant l'aspiration, dépression qui n'existe pas dans les moteurs à deux temps, où, au début de la compression, l'excès de pression sur la pression atmosphérique est au moins égal à 1/10 d'atmosphère.

15. Partie du diagramme d'un moteur Kœrting relative aux phases d'évacuation et d'admission du mélange frais. — La figure 222 représente la portion du diagramme relative aux phases d'évacuation et d'admission pour un moteur fonctionnant suivant le type Kœrting. Au point A, la couronne des lumières d'évacuation s'ouvre; au point B, très voisin du point mort extérieur C, la soupape d'admission s'ouvre, amenant d'abord de l'air pur pour le rinçage du cylindre; au point D, situé après le point mort extérieur C, mais très voisin de lui, le mélange de gaz et d'air entre par la soupape; les lumières d'évacuation se ferment en E; de E en F, le mélange subit une faible compression dans le cylindre; enfin, à partir du point F, point de fermeture de la soupape, la compression qui a déjà commencé au point E se fait nettement dans le cylindre-moteur.

Digitized by Google

La figure 223 représente les différentes positions de la manivelle du moteur qui correspondent au début et à la fin de ces diverses phases d'évacuation et d'admission.

16. Type Œchelhäuser à simple effet et à deux pistons opposés. — Nous nous trouvons donc en présence de deux types de distributions :

a) Dans le premier type, les ouvertures d'évacuation et d'admission placées aux deux extrémités du cylindre sont constituées par des couronnes de lumières percées *longitudinalement* dans la paroi du cylindre; l'ouverture et la fermeture de ces lumières se font de la manière la plus simple au moyen de *deux pistons opposés qui se meuvent dans le cylindre-moteur*. Ces *pistons*, tout en étant des pistons moteurs, jouent l'un le rôle de *distributeur d'échappement*, l'autre le rôle de *distributeur d'admission*.

Ce type est le type *Œchelhäuser*.

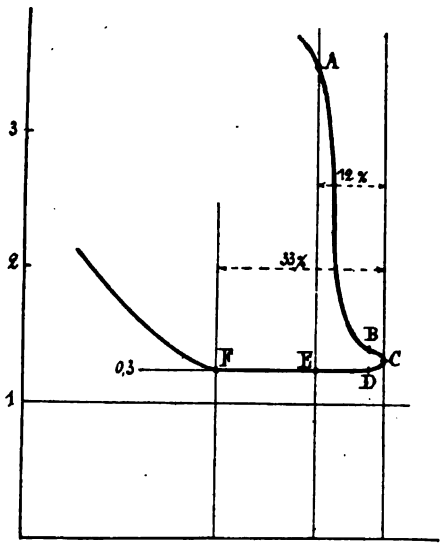


Fig. 222. — Partie du diagramme d'un moteur Koerting relative aux phases d'évacuation et d'admission du mélange frais.

17. Type Kœrting à double effet et à piston distributeur. — *b*) Dans le type Kœrting, les ouvertures d'évacuation sont des couronnes de lumières percées *longitudinalement* dans la paroi du cylindre; l'orifice d'admission est une soupape placée à l'extrémité opposée aux lumières. En plaçant ces lumières dans la partie médiane d'un cylindre dont les extrémités opposées portent des soupapes, on peut, au moyen d'*un seul piston mobile dans ce cylindre, piston qui ouvre et ferme alternativement les lumières centrales, avoir un moteur à double effet.*

Nous allons maintenant étudier en détail la construction des deux moteurs Œchelhäuser et Kœrting et montrer comment, dans chacun d'eux, on a réalisé les conditions de construction que nous venons d'énoncer.

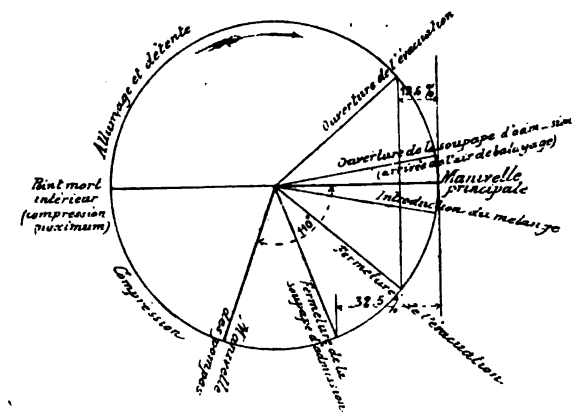


Fig. 223. — Diverses positions de la manivelle d'un moteur Kœrting correspondant au début et à la fin des phases d'évacuation et d'admission.

18. Schéma d'un moteur Œchelhäuser. — Le moteur Œchelhäuser se compose schématiquement (*fig.* 224) d'un cylindre très long, ouvert à ses deux extrémités; dans ce cylindre se meuvent d'un mouvement alternatif inverse deux pistons K_1 et K_2 placés en opposition.

Un de ces pistons, celui d'avant K_1, est relié directement à l'arbre du moteur à la façon ordinaire, c'est-à-dire par tige, crosse, bielle et manivelle; le piston arrière K_2 est relié à l'arbre du moteur par une tige t, par une traverse horizontale T placée à l'arrière du cylindre, par une paire de tiges en retour t_1 et t_2, disposées de part et d'autre du cylindre, par une paire de crosses, de bielles et de manivelles.

Pour réaliser l'inversion du mouvement du piston d'arrière K_2 par rapport à celui du

Digitized by Google

piston d'avant K_1, les manivelles latérales commandées par le premier font avec la manivelle centrale un angle de 180°. L'arbre du moteur comporte donc un triple coude en forme de M.

Les deux pistons emprisonnent entre eux le mélange explosif qu'ils compriment en se rapprochant, et en reçoivent ensuite au retour l'impulsion motrice.

Ces deux pistons moteurs peuvent aussi servir l'un de distributeur d'échappement, l'autre de distributeur d'admission, à condition que l'échappement et l'introduction du mélange frais puissent se faire rapidement dans le voisinage du passage au point mort des deux pistons, point mort d'avant ou intérieur pour le piston d'avant, point mort d'arrière ou extérieur pour le piston d'arrière.

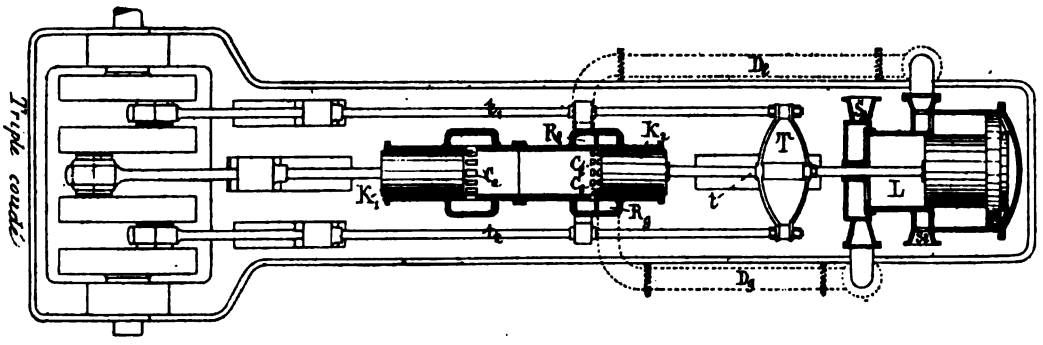


Fig. 224. — Schéma d'un moteur Œchelhäuser.

C'est ce qu'on réalise au moyen de couronnes de lumières dont nous avons déjà parlé plus haut.

Les orifices ou lumières d'échappement et d'admission (représentés sur la figure 224 en C_a, C_l, C_g) sont percés dans la paroi même des cylindres. Ils ont une section rectangulaire uniforme pour chaque série. Dans chacune de ces séries, ils sont répartis à intervalles égaux sur le pourtour du cylindre entre les sections géométriques droites qui en limitent la longueur dans le sens des génératrices.

Les orifices d'échappement C_a (*fig.* 224) placés à l'avant sont établis de façon à être ouverts par le piston K_1 avant que le piston K_2 ne vienne découvrir les orifices C_l. Lorsque la pression est descendue dans le cylindre jusqu'à n'être plus supérieure à la pression atmosphérique que de 1/2 atmosphère environ, les orifices d'admission sont ouverts par le piston K_2.

Les orifices d'admission C_l et C_g sont disposés en deux séries. La première série C_l, la plus proche de la chambre d'explosion, sert pour l'introduction de l'air ; la deuxième série C_g sert pour l'introduction du gaz.

Dès que la surpression dans le cylindre est suffisamment diminuée, les orifices d'admission d'air C_l sont découverts par le piston K_2 et livrent passage à un courant d'air pur qui balaie vers l'échappement les produits brûlés restant dans le cylindre.

Le gaz arrive par la seconde série d'orifices C_g et se mélange à l'air qui continue à s'écouler.

La figure 225 représente les positions des manivelles qui correspondent aux diverses phases du mouvement.

Nous verrons plus loin par quels procédés sont assurées la composition et l'homogénéité du mélange explosif.

Pour le moment, voyons seulement comment a été créé le courant d'introduction.

Digitized by Google

Le constructeur a recours pour cela à une pompe à double effet L placée généralement à l'arrière du moteur et dont la tige est commandée directement par la traverse du piston d'arrière.

Cette pompe à double effet comprime l'air du côté arrière (S_l, orifice d'aspiration de l'air extérieur) en lui donnant sur l'atmosphère une surpression de $0^{kg},4$ à $0^{kg},5$; elle comprime le gaz du côté avant (S_g, orifice d'aspiration du gaz) en lui donnant sur l'atmosphère une surpression de $0^{kg},30$ à $0^{kg},35$ (cette différence entre les pressions de l'air et du gaz est motivée par les exigences de la distribution). L'air et le gaz ainsi pompés sont refou-

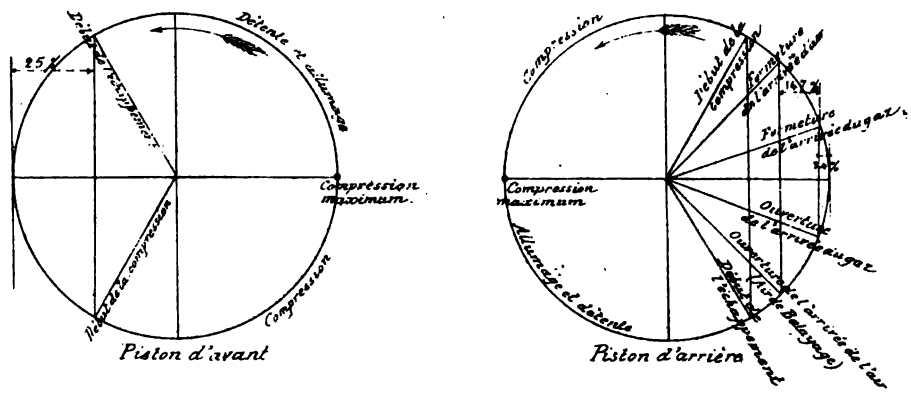


Fig. 225. — Positions des manivelles d'un moteur Œchelhäuser qui correspondent aux diverses phases du fonctionnement.

lés par les conduits D_l et D_g dans deux réservoirs R_l et R_g distincts; ces deux réservoirs se terminent chacun à leurs collecteurs respectifs entourant le cylindre à l'endroit des orifices d'introduction.

Les quantités d'air et de gaz introduites d'un coup de pompe aux réservoirs sont celles qui correspondent à un cycle; elles s'écoulent dans le cylindre sous l'action de leur surpression, qui est de $0^{kg},3$ à $0^{kg},5$.

Par la forme des plus simples de son cylindre, qui ne présente aucun recoin, et par la disposition symétrique de ses orifices d'échappement et d'admission, le moteur Œchelhäuser présente de grands avantages au point de vue de l'évacuation des gaz brûlés par le balayage d'air pur et au point de vue de la stratification. Le matelas d'air pur que celle-ci interpose entre les gaz brûlés et le mélange tonnant a pour effet non seulement d'empêcher les explosions prématurées, mais encore d'éviter que le mélange de gaz et d'air ne sorte en partie du cylindre par les orifices d'évacuation. On ne peut ainsi introduire, même lorsqu'on produit la puissance maximum, qu'une proportion de mélange tonnant qui ne dépasse pas 75 0/0 du volume du cylindre.

D'autre part, pour éviter la combustion de l'huile de graissage du cylindre, il faut non seulement que l'huile ait une température d'inflammation élevée, mais encore qu'elle soit étendue en une couche mince et uniforme sur la paroi à graisser, afin qu'elle participe bien à son refroidissement.

Une petite quantité d'huile mal étalée brûle; si la concrétion charbonneuse qui en résulte est trop volumineuse ou trop peu adhérente à la paroi pour qu'un refroidissement suffisant lui soit assuré, elle provoque elle-même l'explosion prématurée des charges jusqu'à ce qu'elle ait été balayée hors de l'enceinte.

Des parcelles de matières goudronneuses, des poussières même incombustibles, qui peuvent former avec l'huile un magma combustible, produisent les mêmes effets.

Digitized by Google

Pour détruire ou éviter la cohésion de ces poussières ou goudrons, s'ils existent, et faciliter leur sortie du cylindre au moment de l'expulsion des gaz brûlés, on est obligé d'augmenter la quantité d'huile introduite, et c'est surtout alors qu'il importe que celle-ci soit bien étendue sur les parois.

Le long piston du moteur Œchelhäuser assure ce dernier avantage. Dans ce moteur, la longueur de cette pièce, qui joue le rôle de distributeur, est forcément un peu plus grande que sa course ; contrairement à ce qui se produit avec les pistons courts, celui-ci ne découvre à aucun moment les conduits d'amenée d'huile au cylindre. L'huile, poussée par les graisseurs mécaniques sous le piston, n'est donc découverte par celui-ci, pour passer dans l'enceinte, qu'après avoir été bien étendue sur la paroi.

19. Construction du cylindre d'un moteur Œchelhäuser. — Le cylindre-moteur se composant d'un simple tube, le libre jeu des dilatations sur cette pièce de forme simple est très facile à ménager.

La construction s'effectue de deux manières différentes.

1° *La chambre d'explosion est une pièce distincte des chambres d'échappement et d'admission.*

La chambre d'explosion est construite en acier coulé d'une seule pièce avec son enveloppe. Elle s'assemble par brides et boulons avec chacune des enveloppes des chambres d'admission et d'échappement. Ces chambres, distinctes de leurs enveloppes, sont munies d'une bride qui est pincée entre la bride de la chambre d'explosion et celle de leur propre enveloppe, avec joints aux endroits voulus. Un bourrage est établi, d'une part, à l'entrée et à la sortie de la chambre d'échappement à l'avant ; d'autre part, à l'entrée et à la sortie de la double chambre d'admission à l'arrière.

2° *La chambre d'explosion est constituée par le prolongement de la chambre d'arrière* (double chambre d'admission) *et de son enveloppe.*

C'est le mode de construction le plus employé actuellement.

L'emploi de deux pistons donnant une double course motrice par tour permet de réduire le volume du cylindre. Son diamètre est de 675 millimètres pour 500 chevaux, 915 millimètres pour 1.000 chevaux, 1.100 millimètres pour 1.500 chevaux, avec, dans chaque cas, une pression moyenne effective égale seulement à $4^{kr},2$.

20. Circulation d'eau du moteur Œchelhäuser. — La *circulation d'eau* s'établit sur toute la longueur des cylindres et de la chambre d'explosion, sauf à l'endroit des orifices. La chambre d'eau contourne la chambre d'échappement. A la chambre d'admission, elle est interceptée.

Les pistons sont également l'un et l'autre refroidis par de l'eau. Pour l'introduction et la sortie de l'eau, la crosse d'avant et la traverse d'arrière portent chacune une pièce en forme de V à laquelle sont reliés, sur chacune des branches, un tuyau de raccordement au piston et un tuyau de prise ou de sortie d'eau. Ce dernier est constitué par un tube plongeur analogue au piston d'une pompe, qui prend l'eau dans un corps à bourrage parallèle au cylindre et placé vers la partie supérieure de celui-ci.

La pression d'eau nécessaire pour que la circulation d'eau voulue s'établisse dans les pistons n'est que de 10 à 12 mètres d'eau.

21. Pistons du moteur Œchelhäuser. — Les *pistons* sont munis de deux séries de segments : une série de cinq segments près du fond, pour assurer l'étanchéité de l'enceinte ;

Digitized by Google

une série de trois segments à l'avant, pour éviter le dégagement vers l'extérieur des gaz frais et d'échappement.

La figure 226 représente l'un des pistons moteurs d'un cylindre de 1.000 chevaux faisant partie d'un moteur jumelé de 2.000 chevaux construit par MM. D. Stewart et Cie, de Glasgow, pour la municipalité de Johannesburg. Le piston a 1m,30 de longueur, avec cinq segments à l'arrière et trois à l'avant. Il est relié à sa tige par un fond en acier coulé. Derrière ce fond se trouve un récipient en acier de 760 millimètres de diamètre extérieur, réservant entre lui et les parois intérieures du piston un espace annulaire pour une circulation d'eau.

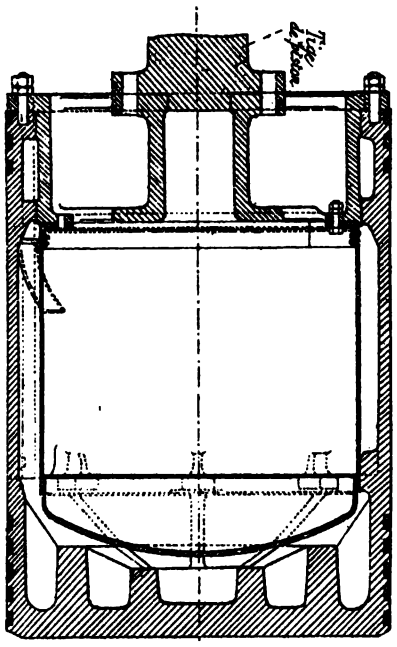


Fig. 226. — Piston d'un moteur Œchelhäuser (coupe longitudinale).

La figure 227 est une section de ce piston normale à son axe. La tige du piston est en acier forgé facile à enlever pour permettre de retirer de suite le piston guidé, pendant ce retrait, par des glissières spéciales. La bielle centrale est en acier, avec petits coussinets en bronze ajustables par coins et gros coussinet en acier coulé garni de bronze blanc dur.

La crosse d'arrière, en acier coulé, est représentée sur la figure 228; elle est reliée à celle d'avant par des tiges de 7m,80 de longueur, en deux pièces réunies par un écrou et deux contre-écrous sur un filetage de 0m,90 de longueur.

L'arbre de ce moteur jumelé est à six manivelles; le volant se trouve dans la partie centrale. Les manivelles sont en acier pressé.

Le moteur Œchelhäuser se prête très bien à la visite du cylindre. Il suffit, pour avoir accès dans ce cylindre, d'enlever les deux petits tuyaux à eau de raccordement au piston d'arrière K_2, de retirer la tige de celui-ci et de faire glisser le piston sur les couvercles des glissières disposées pour cela. De là, le piston s'enlève avec facilité pour découvrir l'accès au cylindre sur toute sa section.

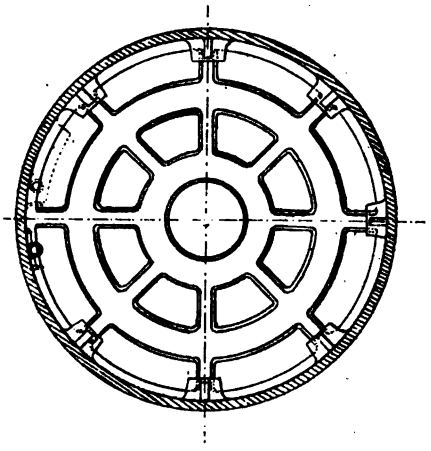


Fig. 227. — Piston d'un moteur Œchelhäuser (coupe normale à l'axe).

22. Peut-on craindre l'obstruction des orifices d'évacuation ? — La présence des orifices sur le pourtour du cylindre n'est-elle pas une cause de faiblesse ? — On a fait au moteur Œchelhäuser quelques critiques au sujet des orifices d'évacuation et d'admission. Les orifices d'évacuation s'obstruent parfois légèrement d'un résidu charbonneux d'huile calcinée; mais ce résidu est très faible lorsque le graissage est bien fait, et il n'a pas une influence marquée sur la bonne marche du moteur. Il est évidemment bon de nettoyer ce résidu quand l'occasion s'en présente, mais le moteur n'a pas besoin d'être arrêté pour cela.

D'autre part, la présence des orifices sur le pourtour du cylindre n'a donné lieu à au-

Digitized by Google

cune déformation ou rupture : les parties du cylindre découpées par ces orifices se lubrifient parfaitement, et il n'est pas possible d'y trouver trace d'usure anormale.

23. Chambre d'explosion d'un moteur Œchelhäuser. — La *chambre d'explosion* est une capacité absolument étanche et qui se conserve telle. Des défauts d'étanchéité ne peuvent guère s'y produire que par les segments des pistons dont l'efficacité est connue. Il n'y a en effet sur la chambre d'explosion que quatre orifices qui ne peuvent donner naissance à des fuites. C'est tout d'abord la petite soupape de mise en marche par l'air comprimé, laquelle ne doit se lever que deux fois de son siège à chaque départ du moteur et reste débrayée pendant le reste du temps. Elle présente donc toutes garanties pour une longue conservation et c'est en réalité ce qui se produit. Les trois autres orifices sont obstrués, l'un par le robinet dit de compression, sur lequel on peut placer l'indicateur, les deux autres par des bouchons d'allumage montés en double pour parer au défaut de fonctionnement éventuel de l'un de ces deux appareils.

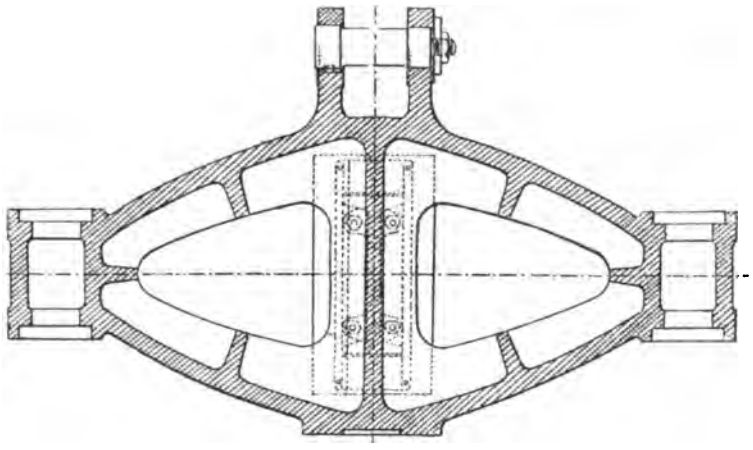


Fig. 228. — Crosse d'arrière d'un moteur Œchelhäuser.

24. Le triple coudé du moteur Œchelhäuser. — L'un des organes qui exigent la construction la plus soignée est le *triple coudé*. On peut en effet craindre pour une telle pièce les déformations élastiques par flexion et par torsion.

En réalité, l'arbre fait avec soin en acier Martin-Siemens ne donne pas lieu aux déformations que l'on pourrait craindre.

25. Equilibrage du moteur Œchelhäuser. — La disposition même du moteur Œchelhäuser en fait un moteur *très bien équilibré*.

26. Réglage du moteur Œchelhäuser. — Pour assurer autant que possible la bonne composition et l'homogénéité du mélange explosif, on dispose des *moyens de réglage* suivants.

1° *Sur chacun des raccords d'aspiration des pompes se trouve un modérateur qui permet l'étranglement de la conduite ;*

2° *Les orifices d'admission d'air et de gaz au cylindre-moteur sont recouverts dans leurs collecteurs respectifs d'un anneau découpé d'ouvertures, anneau qui permet d'étrangler séparément les sections de passage de l'air et du gaz ;*

3° *Sur chacun des réservoirs d'air et de gaz est placée une soupape qui, par sa levée, peut mettre en communication chacun de ces réservoirs avec le conduit d'aspiration correspondant de la pompe ;*

4° *Sur le réservoir d'air, en un point qui partage ce réservoir en capacités sensiblement proportionnelles aux volumes d'air de balayage et de mélange, est placé un clapet d'étran-*

Digitized by Google

glement qui permet de modifier la vitesse d'introduction de l'air au moteur et n'agit sensiblement que sur l'introduction de l'air et du mélange.

Les soupapes de retour, établies sur les réservoirs, *sont commandées mécaniquement et soumises à l'action du régulateur.*

Ces soupapes, dont le fonctionnement écarte du cylindre une partie du gaz et de l'air fournis aux réservoirs par la pompe, sont levées d'une quantité constante dès le commencement du refoulement de la pompe, et la durée de leur levée est rendue variable par l'action du régulateur. Ces soupapes ayant une large section de passage et ne donnant lieu, de même que les clapets de la pompe, qu'à une perte de charge négligeable, la compression dans la pompe et le réservoir ne commence qu'après la fermeture de la soupape de retour, et le travail indiqué de la pompe n'est à toute charge du moteur que ce qu'il doit être strictement pour que la pression voulue soit atteinte dans le réservoir.

Cette pression est d'autant moindre que le temps pendant lequel est restée ouverte la soupape de retour est plus long. D'ailleurs une diminution de cette pression produit une diminution du volume d'air et de gaz introduit dans le moteur pendant la période d'admission.

Le *clapet d'étranglement*, qui divise en deux parties le réservoir d'air et ne doit agir que pendant le chargement du cylindre-moteur, est aussi *commandé mécaniquement* pour que toute perte de charge pendant le remplissage du réservoir par la pompe soit évitée. Pour cela, il est ouvert pendant le remplissage et replacé dans sa position agissante pour la période d'introduction du cylindre-moteur.

Les *autres appareils de réglage*, qui ne doivent se manœuvrer que pour obvier à des différences dans la composition du gaz, *sont commandés à la main.*

On voit donc que, *pour obtenir la réduction de puissance de la machine, on opère la réduction du volume de mélange de gaz et d'air en même temps que du volume d'air de balayage.* Cette dernière réduction peut avoir lieu sans inconvénients, à cause de la moindre quantité de chaleur développée dans le cylindre et du volume plus faible de la tranche de mélange explosif.

En somme, *on opère le réglage à composition constante du mélange introduit et à compression variable.*

27. Moteur Kœrting. — Le moteur *Kœrting*, dont nous avons déjà indiqué le mode de fonctionnement (chap. IX, § 1), est un moteur à deux temps à double effet. Comme cela est absolument nécessaire dans les moteurs à deux temps, les orifices d'évacuation sont des couronnes de lumières percées dans la paroi du cylindre; celles-ci sont situées dans la partie médiane, et le piston moteur vient alternativement les ouvrir et les fermer. Les orifices d'admission situés aux deux extrémités du cylindre sont constitués par deux soupapes à large ouverture; l'introduction de l'air de balayage et du mélange de gaz et d'air se fait au moyen de deux pompes, l'une à gaz GP, l'autre à air LP, visibles sur la figure 229. La figure 223 représente aussi schématiquement les diverses phases du fonctionnement correspondant aux diverses positions de la manivelle du cylindre-moteur.

28. Fonctionnement à pleine charge du moteur Kœrting. — La figure schématique 230 va nous permettre de nous rendre compte des détails du fonctionnement et de la régulation d'un tel moteur.

Le tiroir P_1P_1 sert à mettre, au moyen des canaux b,b, l'intérieur de la pompe à gaz GP en relation soit avec les conduites d'amenée du gaz c, c (périodes d'aspiration de la pompe à gaz), soit avec les tuyaux K_1g_1, K_2g_2 de refoulement du gaz aspiré dans le moteur (périodes

Digitized by Google

de compression de la pompe à gaz). De même le tiroir P_2P_2 sert à mettre la pompe à air LP en relation soit avec les conduites d'amenée de l'air extérieur, soit avec les tuyaux de refoulement K_1l_1, K_2l_2 de l'air dans le cylindre-moteur. Les dimensions des canaux de communication des pompes avec le cylindre-moteur sont d'ailleurs telles que leur volume total soit le même pour chacun des côtés de ce cylindre.

La pompe à gaz GP est en outre munie de deux valves f, f qui, lorsqu'elles sont ouvertes, mettent constamment en communication les canaux b, b et l'intérieur de la pompe GP avec les conduits de refoulement K_1g_1 et K_2g_2. Nous allons d'abord supposer que ces *valves sont fermées*.

La distribution de la pompe à air LP est telle que l'un des pistons P_2 du tiroir P_2P_2 met en relation l'intérieur de la pompe avec le conduit de refoulement correspondant K_1l_1 ou K_2l_2 aussitôt *après le changement de course du piston de la pompe, dès que la course d'aspiration est terminée;* de même, l'intérieur de la pompe est mis en relation avec le tuyau d'amenée d'air correspondant dès que la course de compression est terminée, immédiatement après le changement de course. Sur la figure 230, c'est le côté droit de la pompe qui va être mis en relation avec le conduit de refoulement K_2l_2 (côté du cylindre-moteur); au contraire, le côté situé à gauche du piston va être mis en relation avec le tuyau d'aspiration de l'air. Il résulte immédiatement de là que le piston de la pompe LP, revenant de gauche à droite, va comprimer de l'air dans le tuyau K_2l_2 jusqu'à ce que la soupape du cylindre-moteur vienne à s'ouvrir. Cette soupape s'ouvre pour le balayage d'air lorsque l'échappement a rendu très petite la surpression dans le cylindre, c'est-à-dire un peu avant que la manivelle du cylindre-moteur n'arrive à son point mort (*fig.* 223). Mais, comme la manivelle de la pompe fait un angle de 110° avec la manivelle du cylindre-moteur, le piston de la pompe LP est sensiblement au milieu de sa course lorsque s'ouvre la soupape d'admission.

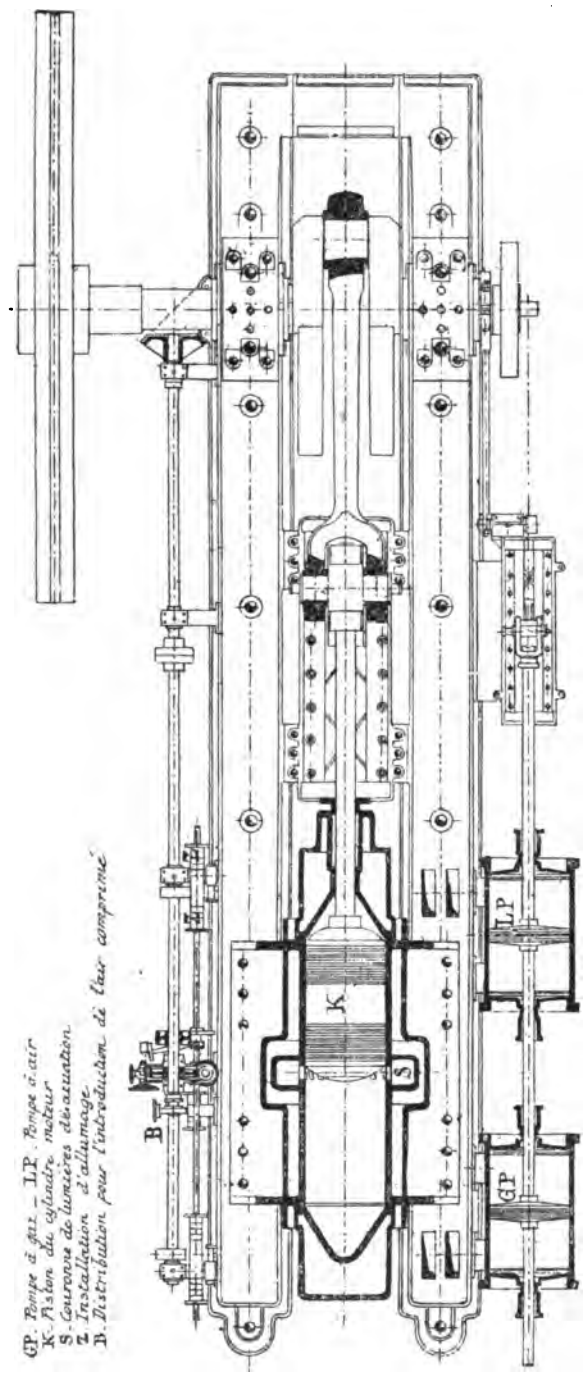


Fig. 229. — Moteur Kœrting.

A ce moment, le piston de la pompe à gaz GP est, lui aussi, sensiblement au milieu de

Digitized by Google

sa course. Mais la masse de gaz qui se trouve à droite de ce piston dans le cylindre GP est encore à la pression atmosphérique ; le tiroir P_1P_1 est en effet construit de telle façon que l'intérieur de la pompe GP reste en communication avec le conduit d'aspiration du gaz non seulement pendant la course d'aspiration, mais encore pendant la moitié de la course de retour. Au moment de l'ouverture de la soupape d'admission du cylindre-moteur, le tiroir P_1P_1 ferme la communication avec le conduit d'aspiration du gaz et met l'intérieur de la pompe à gaz en relation avec le conduit de refoulement du gaz K_1g_1 ou K_2g_2.

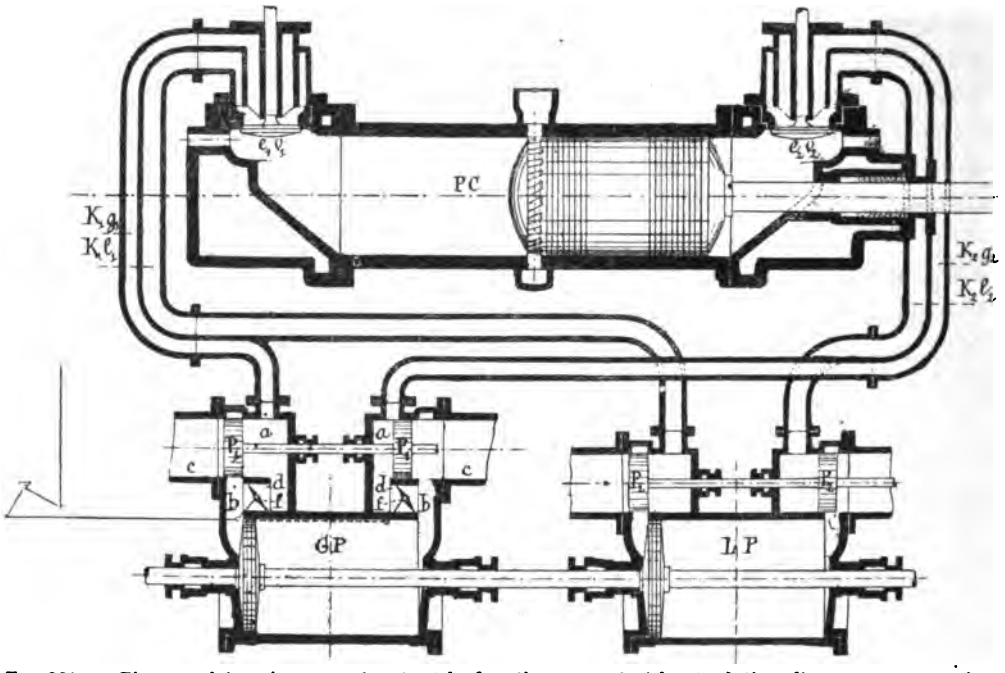


Fig. 230. — Figure schématique représentant le fonctionnement et la régulation d'un moteur Kœrting.

Mais, durant la période qui a précédé l'ouverture de la soupape e_2v_2, la pompe à air LP a comprimé de l'air dans le tuyau K_2l_2 et cet air a repoussé le gaz (existant depuis l'opération précédente) dans le tuyau K_2g_2. Il a donc éloigné ce gaz du plateau de la soupape e_2v_2. Il en résulte qu'au moment où cette soupape s'ouvre, c'est de l'air pur qui pénètre dans le cylindre pour balayer les gaz brûlés. Cette entrée de l'air dans le cylindre-moteur est encore favorisée par ce fait que le gaz n'est pas comprimé dans la pompe à gaz.

Mais, le piston de la pompe à gaz continuant à se mouvoir de gauche à droite, le gaz comprimé entre à son tour dans le cylindre-moteur par le conduit K_2g_2 et la soupape d'admission. A partir de ce moment, l'air et le gaz à la même pression pénètrent ensemble dans le cylindre-moteur en constituant un mélange dont la composition est donnée par le rapport des sections des pompes à gaz et à air, puisque le mouvement des pistons des deux pompes est le même.

L'introduction du mélange de gaz et d'air continue un peu après que le piston du cylindre-moteur a fermé les lumières d'évacuation (*fig.* 223) ; la soupape e_2v_2 se ferme et la compression du mélange introduit commence dans le cylindre-moteur. Les pistons des deux pompes GP et LP sont à fond de course à droite. Ils reviennent en arrière (de droite à gauche) ; les tiroirs P_1P_1 et P_2P_2 interceptent la communication des pompes avec les tuyaux de refoulement K_2g_2 et K_2l_2 et établissent les communications avec les tuyaux d'amenée de gaz et d'air.

Digitized by Google

Les deux tuyaux de refoulement K_2g_2 et K_2l_2 restent pleins de gaz et d'air qui se diffusent légèrement l'un dans l'autre autour de la soupape d'admission. L'air ne refoule le gaz dans le conduit K_2g_2 qu'au moment où s'ouvre de nouveau la communication avec la pompe LP, comme nous l'avons dit plus haut.

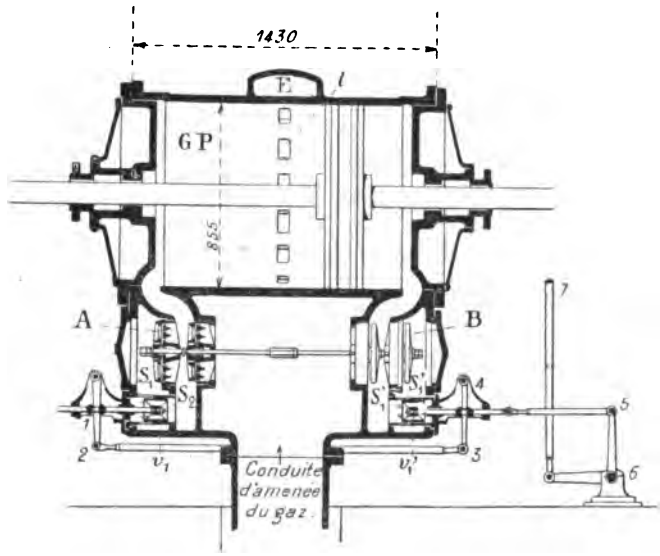


Fig. 231. — Pompe à gaz avec régulation de la Maschinenbau A.-G. Les frères Klein à Dahlbruch.

A, B, Origines des conduites à gaz allant de la pompe à gaz au cylindre-moteur; — S_1, S_1', Soupapes automatiques de communication entre la pompe à gaz et A ou B; — S_2, S_2', Soupapes automatiques de communication entre la conduite d'amenée du gaz et la pompe à gaz; — v_1, v_1', Vannes équilibrées permettant d'établir une communication entre A ou B et la conduite d'amenée du gaz; — 1-2-3-4-5-6-7 Commande des vannes v_1 et v_1'; — t, Trou de communication avec E; — E, Chambre en communication avec la conduite d'amenée du gaz.

29. Fonctionnement du moteur Kœrting à charge réduite. — Sa régulation. — Le mode de fonctionnement que nous venons de décrire convient au cas où le moteur développe sa puissance maximum, pour laquelle le volume total aspiré par la pompe à gaz GP, c'est-à-dire à peu près la moitié du volume intérieur du cylindre de cette pompe, est refoulé dans le cylindre moteur. Lorsque la charge de la machine vient à diminuer, le rôle du régulateur consiste à retarder le moment à partir duquel le gaz est refoulé dans le cylindre-moteur. On augmente ainsi le volume de l'air pur de balayage et on diminue le volume du mélange introduit, tout en maintenant sa composition constante. Le volume de gaz introduit dans le cylindre-moteur reste constant; par suite, la compression reste constante; la composition

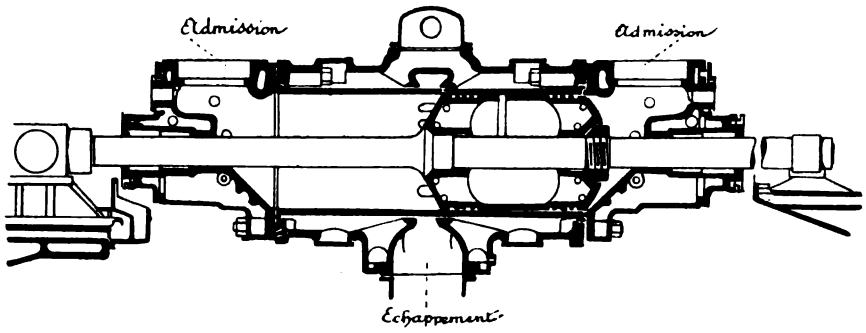


Fig. 232. — Détails d'un cylindre-moteur de la machine Kœrting.

du mélange reste la même qu'à pleine charge, mais son volume est moindre. On opère ainsi la régulation *à compression constante* et *à composition constante du mélange introduit.*

30. Régulation par variation de la longueur de la course de retour du piston de la pompe à gaz. — Une première méthode pour réaliser cette régulation consiste à retarder le moment où le tiroir P_iP_1 supprime la communication de l'intérieur de la pompe à gaz GP avec le conduit d'aspiration du gaz et établit la communication de l'intérieur de cette pompe avec le conduit de refoulement dans le cylindre-moteur. La régulation

Digitized by Google

était ainsi opérée dans les premiers moteurs Kœrting ; une coulisse du type *Walchaert* agissait sur la position du tiroir P_1P_1 et le déplaçait. Mais cette coulisse offrait une trop grande résistance.

31. Régulation par reflux du gaz dans la pompe à gaz. — Actuellement la régulation se fait au moyen des vannes *f*, *f* (*fig.* 230) que jusqu'ici nous avons supposé fermées.

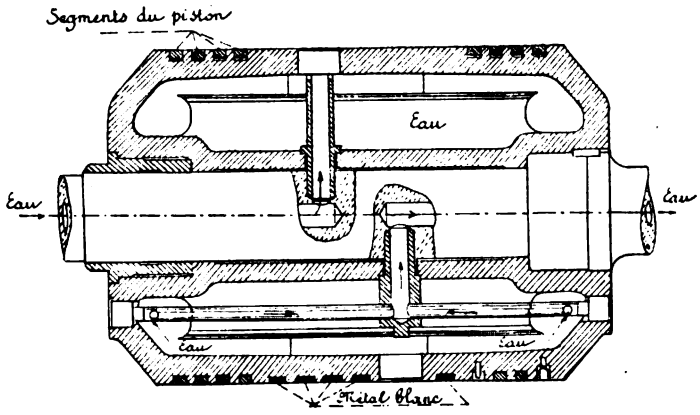


Fig. 233. — Piston de la machine Kœrting, avec circulation d'eau et garniture de métal blanc.

Admettons maintenant que ces vannes f, f ne soient pas complètement fermées. L'intérieur de la pompe à gaz GP communique alors continuellement avec le conduit de refoulement, cette communication étant d'ailleurs établie en même temps pour les deux faces du piston de la pompe à gaz. Dans la conduite de refoulement s'exerce un excédent de pression (sur la pression atmosphérique) de 0,5 à 0,6 atmosphère. Il en résulte que, pendant la période d'aspiration de la pompe et pendant la période de retour (désormais invariable) qui précède le moment où la pompe refoule du gaz dans le cylindre-moteur, le gaz reflue de la conduite de refoulement dans l'intérieur de la pompe à gaz et dans les tuyaux d'aspiration de ce gaz. Au lieu d'avoir dans les tuyaux de refoulement les phénomènes que nous avons analysés plus haut (diffusion du gaz dans l'air autour de la soupape d'admission du cylindre-moteur, tant que la course d'aspiration dure dans les deux pompes, puis refoulement du gaz par l'air dans le tuyau de refoulement du gaz dès que la pompe à air comprime dans le tuyau de refoulement), il se produit dans le tuyau de refoulement du gaz un déplacement du gaz et son remplacement par de l'air dès le début de la course d'aspiration dans la pompe à gaz GP. On conçoit donc qu'au moment où cette pompe à gaz va entrer en action pour refouler du gaz dans le cylindre-moteur, il y ait un retard dans l'arrivée du gaz à la soupape d'admission, puisque l'air qui est venu dans le conduit de refoulement du gaz doit d'abord être refoulé. Tout se passe donc comme si le moment où commence le refoulement du gaz avait été retardé.

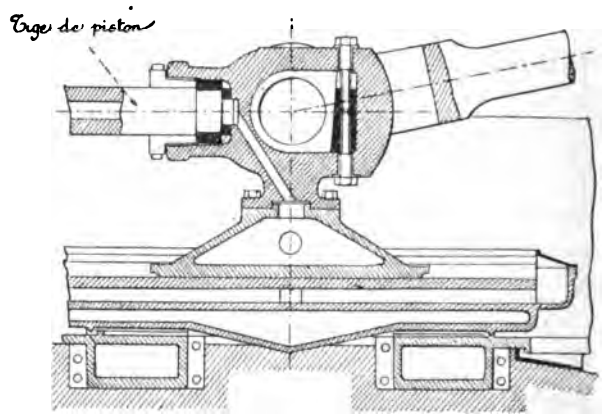


Fig. 234. — Moteur Kœrting : réunion de la tige de piston à la tête de crosse.

On fait, d'ailleurs, varier l'amplitude de ces phénomènes et, par suite, on fait varier le moment où commence la compression du gaz et son arrivée dans le cylindre-moteur en ouvrant plus ou moins les vannes *f*, *f*.

Digitized by Google

Enfin, pour rendre cette régulation plus sensible, on emploie pour *f*, *f* des vannes équilibrées. La figure 231 montre les détails d'une telle pompe à gaz.

32. Allumage du moteur Kœrting. — L'*allumage* se fait au moyen d'une magnéto dans le voisinage du moment où le piston arrive à son point mort intérieur pour la partie gauche du cylindre et à son point mort extérieur pour la partie droite. Il est d'ailleurs facile de faire varier le point d'allumage.

33. Mise en marche. — Compression, circulation d'eau. — La *mise en marche* de la machine se fait au moyen d'air comprimé. Les moteurs qui actionnent une soufflerie peuvent être mis en marche avec une pression de 10 atmosphères; pour les autres, il suffit d'une pression de 6 à 8 atmosphères.

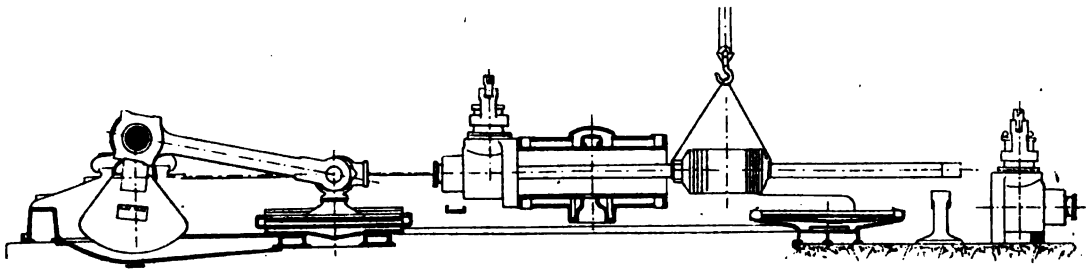


FIG. 235. — Démontage d'un moteur Kœrting. (Construction de la Siegener Maschinenbau A. G., à Siegen.)

La *compression* dans le moteur Kœrting est d'environ 10 à 12 atmosphères.

Il y a une *circulation d'eau* autour du cylindre, dans les fonds, autour des stuffing-box métalliques, dans l'enveloppe qui entoure les orifices d'évacuation (*fig.* 232). D'autre part, de l'eau de refroidissement est introduite d'un côté dans la tête de crosse et, de là, coule dans la tige du piston et à l'intérieur de celui-ci (*fig.* 233); elle revient d'ailleurs à la tête de crosse par un tuyau concentrique au premier, passant dans la tige du piston.

La figure 234 montre la réunion de la tige du piston à la tête de crosse, et la figure 235 représente le démontage d'une machine Kœrting.

Digitized by Google

Digitized by Google

OUVRAGES ET PÉRIODIQUES CONSULTÉS

BAUM, *Die Verwertung des Koksofengases* (Berlin, J. Springer, 1904).

J. DESCHAMPS, *les Gazogènes* (Paris, Vve Dunod, 1902).

DOWSON AND LARTER, *Producer gas* (Longmans, Green and Co, 39, Paternoster Row, London, 1906).

Die Gasmotorentechnik (Berlin, Boll und Pickardt, Georgenstrasse, 23).

PAUL FUCHS, *Generator Kraftgas- und Dampfkessel-Betrieb* (Berlin, J. Springer, 1905).

HUGO GÜLDNER, *Calcul et Construction des Moteurs à combustion.* Traduction française (Paris, Ch. Béranger, 1905).

LENCAUCHEZ, *Etudes sur divers gaz combustibles* (Paris, Bernard Tignol).

HERM. HAEDER, *Die Gasmotoren* (Düsseldorf, L. Schwann, 1904). Traduction française par M. Varinois (Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907).

HANS VON JÜPTNER, *Lehrbuch der chemische Technologie der Energien* (Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1905).

MATHOT, *Manuel pratique des Moteurs à Gaz et Gazogènes* (Paris, Ch. Béranger, 1904).

MATHOT, *les Moteurs à gaz modernes et leurs moyens d'alimentation* (Conférence faite à l'Association des Ingénieurs sortis de l'école de Liège) (Paris, Ch. Béranger, 1904).

DE MOCOMBLE, *De l'utilisation des gaz de haut fourneau* (Extrait de la *Revue de Métallurgie*, janvier et mars 1905).

Revue de Mécanique (Paris, Dunod).

Revue de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (Paris, 44, rue de Rennes).

H. RODIER, *Annuaire technique* (Paris, 64, rue de la Victoire).

Sections de Métallurgie et de Mécanique appliquée du Congrès international des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquée, tenu à Liège le 1er juillet 1905 (Comptes Rendus).

Société technique de l'industrie du gaz en France (Comptes Rendus de divers Congrès, Paris, 105, rue Saint-Lazare).

Stahl und Eisen (Düsseldorf, A. Bagel).

A. WITZ, *Moteurs à gaz et à pétrole* (Paris, Bernard, 1904).

WYER, *Producer gas and gas-producers (The Engineering and Mining Journal*, 1906).

Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure (Berlin, J. Springer).

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES FIGURES

Figures.		Pages.
1.	Schéma d'un récupérateur	7
2.	Four à gaz *Siemens* avec récupérateurs	7
3.	Schéma d'un gazogène *Siemens*	8
4.	Générateurs *Siemens* en batterie (coupe)	8
5.	Générateurs *Siemens* en batterie (plan)	9
6.	Générateur double de *Siemens*	9
7.	Gazogène *Lencauchez*	10
8.	Grille en entonnoir	10
9-10.	Grille conique	10
11.	Grille à gradins portant une partie plane	10
12.	Grille *von Lichtenfeld*	11
13.	Grille conique à rotation excentrique	11
14.	Gazogène *Strache*. Coupe du gazogène et des surchauffeurs	14
15.	Ensemble d'une installation de gaz à l'eau *Strache*	15
16.	Gazogène *Dellwik-Fleischer*	16
17.	Gazogène *Slocum*	17
18-19.	Installation de Zevenbergen. — Appareil de gaz à l'eau *Kramers et Aarts*	19
20-21-22.	Gaz à l'eau *Kramers et Aarts*	20-21
23.	Installation de l'autocarburation à Venlo	23
24.	L'autocarburation à Cadix	23
25.	Appareil pour la détermination industrielle de la puissance calorifique absolue supérieure des combustibles	34
26.	Appareil de *Mahler* pour la détermination de la puissance calorifique absolue des combustibles	35
27.	Calorimètre de *M. A. Witz*	74
28.	Ampoule de *M. A. Witz* pour la préparation du mélange combustible introduit dans le calorimètre	74
29.	Calorimètre de *Junkers*	76
30-31.	Calorimètre de *M. A. Lecomte*	79
32.	Appareil industriel pour l'analyse des gaz des gazogènes	83
33.	Vase à réaction de *E. Hankus*	88
34.	Vase à réaction de *C. Heinz*	88
35.	Appareil *Orsat-Heinz* pour l'analyse industrielle des gaz	89
36.	Appareil *Orsat-Hahn* pour l'analyse industrielle des gaz	90
37.	Gazogène soufflé	99
38.	Gazogène à aspiration	99
39.	Coupe de gazogène *Pierson*	104
40.	Gazogène à aspiration *Dowson*	104
41.	Gazogène *Fichet et Heurtey*	105
42.	Gazogène soufflé à ventilateur *Buire-Lencauchez*	106
43.	Gazogène *Crossley et Rigby*	106
44.	Gazogène soufflé à ventilateur *Letombe*	107
45.	Nouveau gazogène soufflé *Letombe*	107
46.	Gazogène *Kynoch*	108
47-48.	Gazogène *Guilbaud*	108-109
49.	Gazogène *Griffin*	109
50.	Gazogène *Triumph*	110
51.	Gazogène *Grice*	111
52.	Générateur *Pierson*	112
53.	Gazogène *Hindley*	112
54.	Générateur *Catier*	113

Digitized by Google

Figures. Pages.
55. Gazogène *Taylor* à aspiration 114
56. Générateur à aspiration *Fétu-Defize* 115
57 Soupape d'admission d'un moteur à gaz avec dégoudronneur mécanique et chimique *Lencauchez*. 116
58. Coupe de la boîte à clapet du dégoudronneur *Lencauchez* 116
59. Détails de la roue 116
60. Gazogène *Dowson de la Gasmotoren Fabrik de Deutz* 117
61. Épurateur à sciure de bois 117
62. Scrubber *Otto-Deutz* 118
63. Coupe en long d'une installation complète de gaz pauvre avec les appareils *Fichet-Heurtey* 118
64. Gazogène *Letombe* par aspiration compensée 120
65. Gazogène *Dudbridge* 122
66. Gazogène *Pierson* par aspiration 123
67. Vue d'ensemble d'un gazogène *Pierson* par aspiration 124
68. Gazogène *Crossley et Rigby* 125
69. Gazogène *Tangye* 126
70. Gazogène *Genty* par aspiration 127
71. Gazogène *Genty*. Coupe transversale du gazogène 128
72. Gazogène de la *Mersey Engine Works C°* 129
73. Gazogène *Daniels* 129
74. Gazogène *Delion et Lepeu* 130
75. Générateur *Otto-Deutz* 131
76. Gazogène *Davey-Paxman* 132
77. Vaporisateur *Wiedenfeld* 132
78. Gazogène à aspiration de la *National Gas Engine C°* 133
79. Gazogène *Fielding et Platt* 135
80-81. Gazogène *Fielding* 135
82. Doseur *Güldner* 136
83. Doseur *Winterthur* 136
84. Gazogène *Winterthur* 136
85. Réglage de l'alimentation en vapeur dans le générateur *Delassue* 137
86. Réglage *Barrière* de l'alimentation en vapeur d'un générateur 137
87. Gazogène *Genty;* régulateur d'écoulement d'eau pour vaporisation supplémentaire 138
88. Gazogène *Deschamps* 139
89. Gazogène *Thornycroft* 141
90. Gazogène *Genty ;* épurateur à paille de fer 142
91. Gazogène à aspiration *Julius Pintsch* 142
92. Installation pour la gazéification de 400 kilogrammes de splint coal à l'heure ou de 500 kilogrammes de lignite parfait, qualité des Bouches-du-Rhône et de la Catalogne 145
93. Gazogène à aspiration *Roberts et Anstey* 148
94. Gazogène *Poetter* 149
95. Gazogène *Schmidt* 149
96. Gazogène à aspiration *Pintsch* pour combustibles riches en goudrons 150
97. Gazogène *Pintsch* sans grille pour fines ou déchets de combustibles riches en goudrons 150
98. Gazogène *Boutillier* 150
99. Gazogène *Letombe* à foyer supérieur et à combustion renversée 153
100. Gazogène à aspiration *Thwaite* 154
101. Gazogène *Hills et Lane* à combustion renversée 154
102. Grille creuse du gazogène *Hills et Lane* 155
103. Gazogène *Deschamps* à aspiration et à combustion renversée 155
104. Gazogène *Letombe* à combustion renversée et à admission d'air centrale 157
105. Gazogène *Lencauchez* à double combustion 158
106. Gazogène *Fichet et Heurtey* 158
107. Gazogène *Deutz* à double combustion pour lignites 159
108. Gazogène *Letombe* à double combustion 160
109. Gazogène *Lencauchez* à deux, trois, quatre combustibles 163
110. Gazogène *Hovine-Breuillé* 164
111. Générateur *Mond* 167
112. Schéma d'une installation de production de gaz *Mond* 168
113. Schéma d'une installation d'une batterie de générateurs *Duff* 171

Digitized by Google

Figures. Pages.
114. Installation de gazogènes *Duff* à l'usine Armstrong à Manchester 172
115. Installation de gazogènes *Duff* à la United-Alcali à Fleetwood 173
116. Plan d'ensemble des épurateurs du *Blast Furnace Power Syndicate* 198
117-118-119-120. Epurateur *Theisen* 202-203
121. Ventilateur-épurateur 205
122. Ventilateur-épurateur, type *Lencauchez* 206
123. Four à coke, système *Otto*, avec récupérateurs de chaleur 207
124. Variations du pouvoir calorifique des gaz des fours à coke 210
125. Réfrigérants à courant d'eau 219
126. Appareil *Reutter* 219
127. Réfrigérant de la mine Holland 220
128-129. Séparateur de goudrons *Pelouze-Audouin* 221
130. Claie de scrubber, type *Zschocke* 222
131. Laveur à claies *Louis Schwarz* pour 60.000 mètres cubes de gaz à l'heure 222
132. Scrubber à coke de la mine Ministre-Stein de la Compagnie des Mines de Gelsenkirchen 223
133. Laveur rotatif à sphères de Zschocke 224
134. Installation de laveurs à sphères Zschocke pour la séparation de la naphtaline et des composés ammoniacaux 225
135. Epurateur de Zschocke pour gaz de fours à coke 226
136. Epurateur de 18.000 mètres cubes de gaz par vingt-quatre heures. Installation de la fosse Shamrock III/IV de la Compagnie Hibernia 227
137-138-139. Diagrammes d'indicateur de moteurs à quatre temps à simple et à double effet 230-231
140. Fonctionnement à quatre temps: double effet, deux cylindres à simple effet opposés 231
141-142. Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à simple effet jumelés 231-232
143. Fonctionnement à quatre temps: deux cylindres à simple effet en tandem 232
144. Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à double effet jumelés 232
145. Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à double effet en tandem 232
146. Fonctionnement à quatre temps : quatre cylindres à simple effet opposés 232
147. Fonctionnement à quatre temps : deux cylindres à double effet jumelés ; diagramme 233
148-149. Schéma d'un moteur à deux temps 233
150. Diagramme d'un moteur à deux temps 234
151. Fonctionnement à deux temps : cylindre à double effet 234
152. Moteur *Cockerill* de 600 chevaux à simple effet 236
153. Moteur *Letombe* à triple effet 240
154. Moteur *Cockerill* tandem à double effet de 500 chevaux 241
155. Moteur *Cockerill* jumelé à double effet de 500 chevaux 242
156-157. Moteur *Cockerill* tandem à double effet de 1.200 à 1.500 chevaux 243-244
158. Moteur *Cockerill* vertical jumelé de 120 chevaux 245
159-160-161. Moteurs de *Nüremberg* installés aux usines de Rombach 246-247
162-163. Moteurs de *Nüremberg* installés à la Compagnie de Schalke-Gelsenkirchen 247-248
164. Moteur de *Nüremberg* de 700 chevaux actionnant un alternateur de 5.000 volts 248
165. Moteur de *Deutz* de 2.000 chevaux 249
166. Moteur à gaz de 900 chevaux actionnant un alternateur de 5.000 volts 249
167. Schéma d'un moteur *Œchelhäuser* 252
168. Ensemble d'un moteur *Œchelhäuser* 252
169. Moteurs *Œchelhäuser* jumelés 252
170-171. Moteur *Kœrting* 253
172. Moteur à gaz *Cockerill* tandem, 1.200 chevaux 256
173. Moteur de 1.000 chevaux, type *Augsbourg-Nüremberg* 257
174-175-176. Démontage d'un moteur d'*Augsbourg-Nüremberg* 258
177-178. Cylindre d'un moteur *Deutz* 259
179. Cylindre du moteur *Dingler* à deux pistons 260
180. Moteur de *Nüremberg*. Stuffing-box 260
181. Stuffing-box de *Deutz* à deux garnitures métalliques 261
182. Vireur électrique 262
183. Piston *Reichenbach* à circulation d'eau 263
184. Soupape d'échappement *Reichenbach* 264
185. Soupape d'échappement *Nüremberg* 264
186. Cylindre *Krupp* 265

Digitized by Google

Figures. Pages.
187. Soupape d'admission *Reichenbach* 266
188. Soupape à double siège *Reichenbach* 267
189. Cylindre *Ehrhardt et Sehmer* 267
190. Soupape à double siège équilibrée et soupape d'admission *Nüremberg* 268
191. Soupape de mélange de la Maschinen-Fabrik *Thyssen* 268
192. Distribution *Reinhardt* (Schüchtermann et Kremer, Dortmund) 269
193-194. Réglage de la soupape à double siège du moteur de *Nüremberg* 270
195-196-197. Réglage de la soupape à deux sièges dans le moteur de *Nüremberg* 271
198. Mécanisme de distribution du moteur de *Nüremberg* à simple effet 271
199. Réglage *Deutz-Langen* 271
200. Réglage des moteurs de *Deutz* 272-273
201-202-203-204. Réglage *Ehrhardt et Sehmer* 274
205. Réglage *Krupp* 275
206. Réglage du moteur de la *Société française de Constructions mécaniques* 276
207. Moteur *Cockerill :* distribution à admission variable 277
208. Distribution *Cail :* verrouillage de la soupape d'échappement 278
209-210-211. Distribution *Cockerill* à compression constante 279-280-281
212-213-214. Magnéto *Simms-Bosch* 282-283
215. Magnéto *Eisemann* 283
216-217-218-219. Diagrammes d'essais d'un moteur *Cockerill* 286-287
220. Diagramme d'un moteur à deux temps 290
221. Stratification à l'intérieur du cylindre d'un moteur à deux temps 291
222-223. Diagrammes de fonctionnement d'un moteur *Kœrting* 294
224. Schéma d'un moteur *Œchelhäuser* 295
225. Diagramme de fonctionnement d'un moteur *Œchelhäuser* 296
226-227. Piston d'un moteur *Œchelhäuser* 298
228. Crosse d'arrière d'un moteur *Œchelhäuser* 299
229. Moteur *Kœrting* 301
230. Schéma figurant le fonctionnement et la régulation d'un moteur *Kœrting* 302
231. Pompe à gaz avec régulation de la Maschinenbau A. G. *les frères Klein, à Dahlbruch* 303
232. Cylindre-moteur du moteur *Kœrting* 303
233. Piston à circulation d'eau du moteur *Kœrting* 304
234. Moteur *Kœrting ;* réunion de la tige de piston à la tête de crosse 304
235. Démontage d'un moteur *Kœrting* 305

Digitized by Google

TABLE DES TABLEAUX

Pages.

I. Installations de gaz à l'eau et de générateurs du système Dellwik-Fleischer 28
II. Poids spécifiques de diverses sortes de bois 44
III. Composition et puissance calorifique absolue de diverses sortes de bois. Dessiccation à 115° C 45
IV. Composition de quelques sortes de tourbes sèches 46
V. Composition de diverses espèces de lignites 49
VI. Classification anglaise et française des houilles industrielles 55
VII. Composition et puissance calorifique absolue d'un certain nombre de houilles 56
VIII. Composition et puissance calorifique de diverses sortes de houilles 58
IX. Composition et puissance calorifique de quelques anthracites et houilles anthraciteuses 65
X. Composition des charbons obtenus à diverses températures avec du bois de bourdaine préalablement desséché à 150° 67
XI. Quantités de charbon obtenues avec 100 parties de bois desséché à 150° et carbonisé à 300° C 67
XII. Composition de charbons obtenus vers 300° et vers 1.000° avec diverses essences de bois 68
XIII. Composition de quelques charbons de tourbe 68
XIV. Composition et puissance calorifique de diverses espèces de cokes 69
XV. Rendement en coke de quelques houilles industrielles 70
XVI. Composition et puissance calorifique de briquettes allemandes 71
XVII. Pouvoir calorifique et composition de quelques gaz de gazogènes 96
XVIII. Pouvoir calorifique et composition des principaux gaz de gazogènes employés dans l'industrie 97
XIX. Composition en volume des gaz d'un haut fourneau alimenté au coke et au minerai oolithique 177
XX. Machines à gaz de haut fourneau dans les usines métallurgiques allemandes (mai 1906) 194
XXI. Moteurs à gaz alimentés avec du gaz de fours à coke (district de la Ruhr) 213
XXII. Sur quelques installations de moteurs au gaz de fours à coke 214
XXIII. Moteurs à gaz de fours à coke dans les mines et les usines de l'Allemagne (mai 1906) 215
XXIV. Moteurs à gaz de hauts fourneaux et de fours à coke installés en Allemagne dans les mines et les usines (mai 1906) 216
XXV. Composition de quelques installations d'épuration des gaz de fours à coke 228
XXVI. Installations de moteurs *Cockerill* à simple effet de 600 chevaux par cylindre 237
XXVII. Moteurs *Otto* à simple effet fonctionnant au gaz de haut fourneau 238
XXVIII. Installations de moteurs à gaz à double effet de 1.000 chevaux et au-dessus 250
XXIX. Installations de moteurs à deux temps d'une puissance de 1.000 chevaux et au-dessus, alimentés avec du gaz de haut fourneau 254
XXX. Résumé des essais faits sur un moteur *Cockerill par MM. Hubert et Witz* 288

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

[Les nombres entre parenthèses indiquent les pages auxquelles correspondent les alinéas

Pages.

PRÉFACE ..... I à VII

CHAPITRE I

LES GAZOGÈNES. — LE GAZ A L'AIR 1

1. Gaz à l'air (1). — 2. Quantités de chaleur mises en jeu dans les réactions de l'oxygène sur le carbone (1). — 3. Réduction de l'anhydride carbonique par le carbone et réaction inverse (1). — 4. Énoncé de la loi du déplacement de l'équilibre par variation de température (2). — 5. Loi du déplacement de l'équilibre par variation de pression (4). — 6. Facteurs qui influent sur la transformation de l'anhydride carbonique en oxyde de carbone (5). — 7. Influence de la vitesse du courant d'air dans la production industrielle du gaz à l'air (5). — 8. Influence de la température du combustible sur la production du gaz à l'air (6). — 9. Influence de la grandeur de la surface de contact sur la production du gaz à l'air (6). — 10. Conditions optima de la production industrielle du gaz à l'air (6). — 11. Présence de l'hydrogène dans le gaz à l'air (6). — 12. Emploi du gaz à l'air dans l'industrie (7). — 13. Gazogène *Siemens* (7). — 14. Gazogène *Lencauchez* (9). — 15. Sur quelques formes de grilles employées dans ces gazogènes 11

CHAPITRE II

LES GAZOGÈNES. — LE GAZ A L'EAU 12

1. Définition du gaz à l'eau (12). — 2. Conditions optima de la production du gaz à l'eau (12). — 3. Composition moyenne du gaz à l'eau (12). — 4. Principe de la production du gaz à l'eau (13). — 5. Divers procédés de soufflage à l'air pour le chauffage du charbon (13). — 6. Procédé *Strache* (13). — 7. Autres gazogènes donnant les uns du gaz à l'eau pur ou carburé à froid, les autres du gaz à l'eau carburé à chaud (15). — 8. Gazogène *Dellwik-Fleischer* (15). — 9. Gazogène *Slocum* (17). — 10. Gazogène *Kramers et Aarts* (18). — 11. Les applications du gaz à l'eau (21). — 12. Emploi du gaz à l'eau dans les becs Auer (21). — 13. Mélange du gaz à l'eau avec le gaz d'éclairage (22). — 14. Carburation du gaz à l'eau, soit à froid au moyen de benzol, soit à chaud au moyen d'huiles de naphte (22). — 15. Carburation du gaz à l'eau par le passage de ce gaz dans le barillet des appareils à gaz de houille (22). — 16. Carburation du gaz à l'eau par le passage de ce gaz dans les cornues de distillation du gaz de houille. Autocarburation (22). — 17. Avantages que les usines à gaz de houille trouvent dans la production du gaz à l'eau (24). — 18. Le gaz à l'eau ne doit être employé que comme auxiliaire dans la fabrication du gaz de houille (25). — 19. Toxicité des mélanges de gaz de houille et de gaz à l'eau. Un mélange de 80 0/0 de gaz de houille avec 20 0/0 de gaz à l'eau n'est pas plus toxique que le gaz de houille pur (25). — 20. Les comités d'hygiène admettent en Angleterre que le gaz d'éclairage distribué dans les habitations peut contenir au maximum 20 0/0 d'oxyde de carbone (26). — 21. Applications du gaz à l'eau dans les fours de verrerie et en métallurgie (26). — 22. Applications du gaz à l'eau à la soudure autogène 26

CHAPITRE III

LES COMBUSTIBLES DES GAZOGÈNES 32

§ I

Déterminations calorimétriques 32

1. Combustibles des gazogènes (32). — 2. Composition des combustibles solides. Combustibles gras. Combustibles maigres (32). — 3. Puissance calorifique absolue (33). — 4. Puissance calorifique

Digitized by Google

Pages.

spécifique (33). — 5. Principe de la méthode calorimétrique permettant la détermination de la puissance calorifique absolue supérieure d'un combustible (34). — 6. Description de l'appareil de M. *Mahler* (34). — 7. Mode opératoire pour déterminer la puissance calorifique d'un combustible (35). — 8. Correction calorimétrique dans les appareils *Mahler* (36). — 9. Fin des opérations de la méthode *Mahler* (37). — 10. Calcul de la puissance calorifique d'un combustible (37). — 11. Puissance calorifique absolue inférieure (38). — 12. Exemple numérique (39). — 13. Méthode calorimétrique de *Parr* (40). — 14. Autres méthodes calorimétriques (40). — 15. Formules donnant la puissance calorimétrique en fonction de la composition élémentaire (40). — 16. Détermination de la teneur d'un charbon en matières volatiles et de sa teneur en cendres..... 42

§ II

Composition et puissance calorifique des divers combustibles 44

1. Bois (44). — 2. Tourbe (44). — 3. Lignite ou houille brune (Braunkohle) (47). — 4. Houille. Classification des houilles (53). — 5. Anthracite (64). — 6. Charbon de bois (66). — 7. Charbon de tourbe (68). — 8. Coke (69). — 9. Agglomérés..... 71

CHAPITRE IV

GAZ MIXTE OU GAZ PAUVRE DE GAZOGÈNE. — POUVOIR CALORIFIQUE ET COMPOSITION CHIMIQUE 72

1. Gaz mixte (72). — 2. Réactions de production du gaz mixte (72). — 3. Pouvoir calorifique inférieur. Pouvoir calorifique supérieur (73). — 4. Détermination du pouvoir calorifique par l'appareil de *Mahler* (73). — 5. Détermination du pouvoir calorifique par l'appareil de *M. A. Witz* (74). — 6. Méthode calorimétrique à température constante (75). — 7. Calorimètre de *Junkers* (76). — 8. Calorimètre de *M. A. Lecomte* (78). — 9. Principe de l'analyse d'un gaz de gazogène (80). — 10. Appareil pour l'analyse des gaz de gazogènes (83). — 11. Causes d'erreur de la méthode d'analyse qui précède (87). — 12. Autre manière de conduire la détermination de la composition d'un gaz pauvre. Absorption de CO (87). — 13. Autre forme des vases à absorption des gaz CO, O, CO^2, C^2H^4 (88). — 14. Nouvel appareil du type Orsat. Appareil *C. Heinz* (88). — 15. Modification de l'appareil d'Orsat. Appareil *C. Hahn* (90). — 16. Calcul, à partir de la composition chimique d'un gaz de gazogène, du volume de gaz produit (92). — 17. Rendement d'un gazogène (93). — 18. Calcul à partir de la composition chimique du pouvoir calorifique d'un gaz de gazogène (94). — 19. Composition des gaz pauvres..... 95

CHAPITRE V

GAZOGÈNES ALIMENTÉS AU COKE ET A L'ANTHRACITE. — GAZOGÈNES SOUFFLÉS GAZOGÈNES A ASPIRATION 98

§ I

Conditions de fonctionnement d'un gazogène à combustion directe alimenté au coke et à l'anthracite 98

1. Types de gazogènes (98). — 2. Première condition de fonctionnement imposée par la nature même des réactions produites (99). — 3. Limitation de la proportion de vapeur d'eau insufflée (100). — 4. Comment on peut accroître la proportion de vapeur d'eau insufflée (100). — 5. Conditions qui favorisent l'accroissement de la teneur en oxyde de carbone et en hydrogène (100). — 6. Comment varie la composition du gaz produit lorsqu'on fait varier la teneur en vapeur d'eau du mélange d'air et de vapeur insufflé dans le gazogène (101). — 7. Teneur en hydrogène du gaz destiné à l'alimentation des moteurs (102). — 8. Constance dans la composition et le dégagement du gaz fourni par le gazogène (103). — 9. Éviter les pertes de chaleur par rayonnement et par conductibilité (103). — 10. Insufflation centrale de l'air (104). — 11. Soufflage à vapeur et soufflage mécanique. Injecteurs de vapeur. Ventilateurs. Exhausteurs (105). — 12. Production de la vapeur (109). — 13. Éviter les variations de composition du gaz au moment du chargement du charbon frais (109). — 14. Décrassage mécanique par sole tournante (112). — 15. Les cendres nécessitent un réglage de l'allure plus ou moins chaude du gazogène. Influence de l'attaque des grilles par les cendres (113). — 16. Grosseur convenable des morceaux de combustible (114). — 17. Récupération des chaleurs perdues par les gaz de gazogènes destinés à l'alimentation des moteurs (114). — 18. Épuration du

Digitized by Google

Pages.

gaz. Importance de cette épuration (114). — 19. Combustibles à employer dans les gazogènes à combustion directe (116). — 20. Gazogène soufflé à injecteur de la *Gasmotoren Fabrik de Deutz* (117). — 21. Gazogène soufflé à injecteur *Fichet et Heurtey*. Gazogène soufflé *Letombe*..... 119

§ II

Les gazogènes à aspiration 119

1. Reproches faits aux gazogènes soufflés (119). — 2. Emploi des gazogènes à aspiration (119). — 3. Autorégulation de la teneur en vapeur d'eau du mélange gazeux fourni au gazogène (119). — 4. Réglage de la teneur en vapeur d'eau du mélange gazeux fourni au gazogène (119). — 5. Inconvénients que présentent les gazogènes à aspiration (120). — 6. Gazogènes à aspiration compensée; marche sans pression ni dépression (120). — 7. Gazogène avec exhausteur entre la cuve et le gazomètre (121). — 8. Diamètre de la cuve des générateurs à la base du combustible (121). — 9. Hauteur du charbon dans la cuve d'un gazogène (121). — 10. Cône ou cornue de réserve et de distillation du combustible (122). — 11. Base sur laquelle repose le combustible (122). — 12. Inconvénients que présente l'adhérence des mâchefers. Moyens de l'éviter (122). — 13. Sortie des gaz du générateur (125). — 14. Trémies de chargement (126). — 15. Cendriers secs et cendriers avec couche d'eau (129). — 16. Gazogènes à foyers fermés et gazogènes à foyers ouverts (131). — 17. Dispositifs pour enlever les mâchefers et ringarder (131). — 18. Production de la vapeur (133). — 19. Générateurs à vaporisateur extérieur. Chaudières à tubes de feu et chaudières à tubes d'eau (133). — 20. Générateurs à vaporisateur extérieur (134). — 21. Gazogènes dans lesquels l'air est humidifié sans l'emploi d'un vaporisateur (134). — 22. Régulation de l'alimentation en eau des vaporisateurs (134). — 23. Doseurs automatiques de l'eau d'alimentation dans les vaporisateurs à vaporisation instantanée (135). — 24. Réglage de l'alimentation en vapeur du générateur (137). — 25. Surchauffeurs (140). — 26. Refroidisseurs et scrubbers (140). — 27. Sécheurs (141). — 28. Appareils pour purifier les gaz (142). — 29. Joint hydraulique (142). — 30. Réservoir à gaz. Cloche régulatrice (143). — 31. Ventilateurs de mise en marche..... 143

CHAPITRE VI

GAZOGÈNES ALIMENTÉS AVEC DES COMBUSTIBLES RICHES EN MATIÈRES VOLATILES GAZOGÈNES A CUVE A COMBUSTION RENVERSÉE. — GAZOGÈNES A CUVE A DOUBLE COMBUSTION GAZOGÈNES A DEUX CUVES 144

1. Nécessité d'une épuration complète du gaz destiné à l'alimentation des moteurs (144). — 2. Méthodes d'élimination des goudrons (144). — 3. Difficultés présentées par l'élimination de certains goudrons. Goudrons vésiculaires vagabonds (144). — 4. Mode d'épuration par l'eau chaude préconisé par *M. Lencauchez* (145). — 5. Destruction des goudrons par le feu (146). — 6. Gazogènes à un seul combustible. Gazogènes à une cuve, à deux cuves. Gazogènes à combustion renversée, à double combustion (147). — 7. Gazogènes à combustibles multiples (147). — 8. Entraînement des vapeurs goudronneuses par les gaz dans les gazogènes à combustion directe (147). — 9. Gazogènes à combustion directe. Prise de gaz dans la région très chaude du gazogène (147). — 10. Gazogènes à combustion directe. Ramener sous la grille les produits de distillation (148). — 11. Gazogènes à combustion renversée. Nécessité d'une alimentation suffisante d'air à température élevée (151). — 12. Inconvénients de la combustion renversée (151). — 13. Cas dans lesquels les gazogènes à combustion renversée peuvent rendre de très grands services (152). — 14. Fonctionnement à combustion renversée. Points sur lesquels il est utile de porter son attention. Manières de produire l'adduction d'air supplémentaire (152). — 15. Gazogène *Letombe* à foyer supérieur (153). — 16. Gazogènes à combustion renversée appartenant aux deux autres types (154). — 17. Gazogène *Thwaite* à combustion renversée (154). — 18. Gazogène *Hills et Lane* à combustion renversée (154). — 19. Gazogène *Deschamps* à combustion renversée (155). — 20. Gazogène *Letombe* à combustion renversée et à admission d'air centrale (157). — 21. Gazogènes à double combustion (158). — 22. Gazogène *Lencauchez* (158). — 23. Gazogène *Fichet et Heurtey* (159). — 24. Gazogène de *Deutz* (159). — 25. Gazogène *Letombe* (160). — 26. Gazogènes à deux cuves (162). — 27. Charbons que l'on peut employer dans un gazogène à cuve (162). — 28. Charbons qui ne peuvent être employés dans les gazogènes à cuve (162). — 29. Gazogènes à combustibles multiples. Gazogène *Lencauchez* (163). — 30. Gazogène *Hovine-Breuillé*..... 163

Digitized by Google

Pages.

CHAPITRE VII

GAZOGÈNES ALIMENTÉS AVEC DES COMBUSTIBLES RICHES EN AZOTE. — RÉCUPÉRATION DES SOUS-PRODUITS. — GAZOGÈNE MOND. — GAZOGÈNE DUFF 166

1. Récupération des sous-produits. Tourbe et bois. Charbons bitumineux riches en azote. Production d'AzH^3 (166). — 2. Réalisation de l'allure froide du gazogène dans l'emploi des charbons bitumineux. Grand excès de vapeur d'eau (166). — 3. Générateur *Mond* (167). — 4. Gazogène *Mond*. Récupérateur. Tour d'absorption des produits ammoniacaux (167). — 5. Expériences d'*Humphrey* sur le fonctionnement d'un gazogène *Mond* (169). — 6. Sur quelques installations du gazogène *Mond* (171). — 7. Gazogène *Duff*..... 172

CHAPITRE VIII

UTILISATION DES GAZ DE HAUTS FOURNEAUX ET DE FOURS A COKE 175

§ I

Les gaz de hauts fourneaux 175

1. Progrès réalisés en sidérurgie pour abaisser la consommation de coke par tonne de fonte produite (175). — 2. Économie réalisée par le chauffage du vent (176). — 3. Gaz sortant du gueulard. Volume produit par tonne de coke (176). — 4. Volume de vent soufflé par tonne de coke (176). — 5. Nature et composition des gaz du gueulard (177). — 6. Pouvoir calorifique supérieur du gaz de haut fourneau (177). — 7. Conditions générales de marche d'un haut fourneau (178). — 8. Poussières contenues dans le gaz de haut fourneau (179). — 9. Influence des poussières sur le fonctionnement des récupérateurs (179). — 10. Économies réalisées par l'épuration des gaz avant leur arrivée aux Cowper (180). — 11. Utilisation du gaz dans les récupérateurs. Rendement d'un récupérateur. Proportion des gaz du gueulard brûlés dans les récupérateurs (181). — 12. Utilisation du gaz de hauts fourneaux pour le chauffage des chaudières (182). — 13. Quantité de vapeur qui peut être produite par la combustion du gaz (183). — 14. Quantité de gaz nécessaire pour produire le cheval-heure effectif (183). — 15. Rendement thermique total de la chaudière, des conduites et de la machine (184). — 16. Rendement des machines soufflantes (184). — 17. Bilan d'un haut fourneau avec soufflantes à vapeur quand on n'épure pas les gaz avant leur entrée aux Cowper (186). — 18. Bilan d'un haut fourneau avec soufflantes à vapeur quand on épure les gaz avant leur entrée aux Cowper (186). — 19. Rendement d'un haut fourneau considéré comme gazogène. Les souffleries sont actionnées par des moteurs à gaz (187). — 20. Rendement d'un haut fourneau considéré comme gazogène. Les souffleries sont actionnées par des moteurs à vapeur (189). — 21. Bilan horaire d'un haut fourneau fonctionnant avec des soufflantes à gaz (189). — 22. Avantages économiques qui résultent de la substitution des moteurs à gaz aux moteurs à vapeur. Transport d'énergie. Prix du cheval-heure (190). — 23. Avantages économiques qui résultent de la substitution des moteurs à gaz aux moteurs à vapeur. Service d'une aciérie (191). — 24. Avantages économiques qui résultent de la substitution des moteurs à gaz aux moteurs à vapeur. Transformation d'une installation de moteurs à vapeur complètement amortie (192). — 25. Quelques mots d'historique sur l'utilisation directe des gaz de hauts fourneaux pour la production de la force motrice (193). — 26. Objections que l'on faisait en 1898 à l'alimentation directe des moteurs à gaz par le gaz de haut fourneau (193). — 27. La pratique a répondu aux objections du début sur l'utilisation des gaz de hauts fourneaux dans les moteurs à gaz (196). — 28. Les premiers essais de la Société *Cockerill* ne nécessitent pas une épuration spéciale des gaz de hauts fourneaux (197). — 29. Difficultés rencontrées avec les gaz très poussiéreux de Differdange (197). — 30. La période de la recherche de l'épuration des gaz dans l'industrie de la fonte (197). — 31. Influence de la nature du minerai sur la teneur en poussière des gaz de hauts fourneaux (197). — 32. Classification des appareils d'épuration des gaz de hauts fourneaux (198). — 33. Appareils statiques. Épurateur *Thwaite-Gardner* (198). — 34. Inconvénients que présentent les appareils statiques (199). — 35. Méthode dynamique (199). — 36. Degré d'épuration des gaz destinés à l'alimentation des moteurs (200). — 37. Nécessité de l'épuration de la totalité des gaz de haut fourneau (200). — 38. Divers degrés d'épuration des gaz produits par les hauts fourneaux (200). — 39. Il est nécessaire de refroidir les gaz sortant du gueulard avant de les soumettre à l'épuration dynamique (200). — 40. Refroidissement des gaz sortant du gueulard (201). — 41. Appareil *Bian* pour le refroidissement des gaz sortant du gueulard (201). — 42. Appareils dynamiques employés dans l'épuration des gaz de hauts fourneaux (201). — 43. Épurateur *Theisen* (202). — 44. Ventilateur-épurateur (205). — 45. Ventilateur-épurateur de *Differdange* (205). — 46. Ventilateur-épurateur *Lencauchez*..... 206

Digitized by Google

Pages.

§ II

Gaz des fours à coke. 207

1. Utilisation du coke métallurgique dans les hauts fourneaux (207). — 2. Excédent de gaz produit dans la fabrication du coke métallurgique (208). — 3. Quelques données sur le volume de l'excédent de gaz produit (208). — 4. Volume de gaz produit par tonne de charbon (208). — 5. Composition moyenne des gaz de fours à coke (209). — 6. Pouvoir calorifique du gaz de fours à coke (209). — 7. Variation du pouvoir calorifique pendant la préparation du coke (209). — 8. Utilisation à l'éclairage de l'excédent de gaz produit (210). — 9. Utilisation de l'excédent de gaz sous des chaudières (211). — 10. Utilisation de l'excédent de gaz dans les moteurs à gaz (212). — 11. Développement en Allemagne de l'utilisation du gaz de coke dans les moteurs à gaz (212). — 12. Utilisation des gaz produits dans les fours à fondre le cuivre (217). — 13. Difficultés que présente l'épuration des gaz de fours à coke (218). — 14. Principe de l'épuration des gaz de fours à coke (218). — 15. Refroidissement des gaz à la sortie des fours (218). — 16. Refroidisseurs à circulation d'air (218). — 17. Refroidisseurs à courant d'eau (219). — 18. Réfrigérant intensif *Zschocke* (219). — 19. Séparateurs de goudrons (221). — 20. Séparateur de goudrons *Pelouze-Audouin* (221). — 21. Scrubbers (222). — 22. Laveurs à gaz rotatifs (224). — 23. Séparation du cyanogène et de l'hydrogène sulfuré (225). — 24. Filtration des gaz au travers de sciure ou de laine fine de bois (226). — 25. Épuration chimique par l'hydrate d'oxyde de fer en suspension dans l'eau (228). — 26. Exhausteurs et régulateurs de pression..... 228

CHAPITRE IX

LES GRANDS MOTEURS A GAZ 229

§ I

Définition des types et des groupements des moteurs à gaz de grande puissance 229

1. Types auxquels appartiennent les moteurs à gaz de grande puissance (229). — 2. Fonctionnement à quatre temps (229). — 3. Fonctionnement à quatre temps. Double effet ; un seul cylindre (230). — 4. Fonctionnement à quatre temps. Double effet ; deux cylindres à simple effet opposés (231). — 5. Fonctionnement à quatre temps ; deux cylindres à simple effet jumelés, deux cylindres à simple effet en tandem (231). — 6. Fonctionnement à quatre temps ; deux courses motrices par tour de l'arbre (232). — 7. Fonctionnement à deux temps. Cylindre à simple effet (233). — 8. Fonctionnement à deux temps. Cylindre à double effet (234). — 9. Le développement des grands moteurs à gaz. Le moteur *Simplex* de *Delamare-Deboutteville et Malandin* (235). — 10. Moteur *Cockerill* à simple effet (235). — 11. Moteur *Otto* à simple effet (238). — 12. Introduction du double effet dans les moteurs de grande puissance (239). — 13. Moteur *Letombe* à double effet et à triple effet (239). — 14. Les moteurs à double effet à grande puissance. Moteurs *Cockerill*, *Otto*, *de la Société de Nüremberg* (239). — 15. Le moteur à gaz de grande puissance à deux temps. Moteur *Œchelhäuser*. Moteur *Kœrting*..... 252

§ II

Les moteurs à quatre temps 255

1. Bâti. Bâti à longerons de la Société *Cockerill* (255). — 2. Bâti à collerette de la Société d'*Augsbourg-Nüremberg* (255). — 3. Cylindres. Chambres à eau. Fonds (256). — 4. Pistons (259). — 5. Tiges de pistons (260). — 6. Crosse motrice (260). — 7. Arbre coudé (260). — 8. Presse-étoupes (260). — 9. Volant (261). — 10. Circulation d'eau (262). — 11. Circulation d'eau dans le piston (262) — 12. Volume d'eau nécessaire pour le refroidissement d'un grand moteur (263). — 13. Arbre secondaire (263). — 14. Soupapes. Leur nombre (263). — 15. Soupape d'échappement (263). — 16. Soupapes d'admission. Valve à deux sièges. Obturateur à air (264). — 17. Modes de réglage actuellement usités (266). — 18. Réglage par mélange à dosage variable, admission totale et compression constante. Premier type de réglage à déclic des moteurs de *Nüremberg* (270). — 19. Réglage par mélange à dosage variable, admission totale et compression constante. Deuxième type de réglage à déclic des moteurs de *Nüremberg* (272). — 20. Réglage par mélange à dosage constant, admission variable et compression variable. Troisième type de réglage des moteurs de *Nüremberg* (273). — 21. Réglage par mélange à dosage constant, admission variable et compression variable. Types de réglage des moteurs *Deutz* (273). — 22. Réglage par mélange à dosage constant, admission variable et compression variable. Réglage *Ehrhardt et Sehmer* (274). — 23. Réglage par admission variable et mélange

Digitized by Google

Pages.

de dosage constant. Réglage *Krupp* (275). — 24. Réglage *Cail*. Réglage à mélange de dosage constant et admission variable (275). — 25. Distribution *Cockerill* à compression variable et à mélange de dosage constant (276). — 26. Verrouillage de la soupape d'échappement. Système *Cail* (276). — 27. Distribution Cockerill à compression constante et mélange de dosage variable (278). — 28. Mise en marche par l'air comprimé (278). — 29. Graissage (280). — 30. Allumage électrique (280). — 31. Divers modes de réalisation de l'allumage par magnéto haute tension (281). — 32. Type *Simms-Bosch*. Principe (281). — 33. Magnéto *Simms-Bosch* pour allumage de cylindres multiples (283). — 34. Parafoudre (284). — 35. Principe des magnétos avec transformateur indépendant de l'induit (284). — 36. Essai d'un moteur Cockerill par MM. *Hubert* et *Witz* 284

§ III

Les moteurs à deux temps 289

1. Types de moteurs à deux temps employés dans l'industrie sidérurgique (289). — 2. Principe du fonctionnement à deux temps (289). — 3. Distinction entre le fonctionnement à deux temps et le fonctionnement à quatre temps (289). — 4. Etude du diagramme d'un moteur à deux temps dans le voisinage du changement de course correspondant à l'évacuation des gaz brûlés (290). — 5. Les phases d'évacuation des gaz brûlés et d'introduction du mélange frais se font pendant un temps très court. Conséquences (290). — 6. Les orifices d'évacuation d'un moteur à deux temps doivent être très larges (291). — 7. Le moteur à deux temps ne peut avoir une distribution d'échappement par soupapes (291). — 8. L'échappement d'un moteur à deux temps doit se faire par une couronne de lumières percées dans les parois du cylindre-moteur (292). — 9. Les tensions de l'air de balayage et du mélange de gaz et d'air doivent être aussi petites que possible, afin de diminuer la puissance dépensée dans les pompes (292). — 10. Phénomène de la stratification dans le cylindre-moteur (292). — 11. Les pompes d'un moteur à deux temps ne doivent pas jouer le rôle de compresseurs; elles sont seulement des organes d'alimentation ou de distribution (292). — 12. Un excès de tension de 4/10 à 6/10 d'atmosphère pour les gaz d'alimentation d'un moteur à deux temps est un mal nécessaire (293). — 13. Admission au moyen de couronnes de lumières percées dans les parois du cylindre-moteur. Type Œchelhäuser (293). — 14. Emploi d'une soupape pour l'admission. Type Kœrting (293). — 15. Partie du diagramme d'un moteur Kœrting relative aux phases d'évacuation et d'admission du mélange frais (293). — 16. Type Œchelhäuser à simple effet et à deux pistons opposés (294). — 17. Type Kœrting à double effet et à piston distributeur (294). — 18. Schéma d'un moteur Œchelhäuser (294). — 19. Construction d'un cylindre d'un moteur Œchelhäuser (297). — 20. Circulation d'eau du moteur Œchelhäuser (297). — 21. Pistons du moteur Œchelhäuser (297). — 22. Peut-on craindre l'obstruction des orifices d'évacuation ? La présence des orifices sur le pourtour du cylindre n'est-elle pas une cause de faiblesse (298). — 23. Chambre d'explosion d'un moteur Œchelhäuser (299). 24. Le triple coudé du moteur Œchelhäuser (299). — 25. Équilibrage du moteur Œchelhäuser (299). 26. Réglage du moteur Œchelhäuser (299). — 27. Moteur Kœrting (300). — 28. Fonctionnement à pleine charge du moteur Kœrting (300). — 29. Fonctionnement du moteur Kœrting à charge réduite. Sa régulation (303). — 30. Régulation par variation de la longueur de la course de retour du piston de la pompe à gaz (303). — 31. Régulation par reflux du gaz dans la pompe à gaz (304). — 32. Allumage du moteur Kœrting (305). — 33. Mise en marche. Compression. Circulation d'eau.... 305

Ouvrages et Périodiques consultés 307
Table des Figures 309
Table des Tableaux 313

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Digitized by Google

Digitized by Google

En vente à la Librairie H. DUNOD ET E. PINAT

49, Quai des Grands-Augustins, Paris (VIe)

AUTRES OUVRAGES DE M. MARCHIS

édités par la librairie H. Dunod et E. Pinat

Leçons sur la voiture automobile. In-4° de XVI-646 pages, avec 356 figures. Autographié ..... 20 fr.

Matériaux employés. Moteurs. Châssis. Essieux. Roues. Bandages. Freins. Suspension. Direction. Transmission.

Les moteurs à essence pour automobiles. 2e édition augmentée d'un supplément. In-8° de XV-514 pages, avec 250 figures. Broché, 16 fr. 50; cartonné ..... 18 fr.

Historique de l'industrie automobile. Applications de l'automobile. Types de moteurs à explosion, étude expérimentale, diagramme, puissance effective, conditions de fonctionnement. Le refroidissement des moteurs. Distribution. Echappement. Régulation. Réservoir. Les carburateurs. Allumage (par procédés non électriques; par étincelle d'induction; par magnetos et dynamos). Équilibrage des moteurs en général et des moteurs à explosion en particulier. Bibliographie. Vocabulaire. *Perfectionnements apportés en 1904 au moteur à essence pour automobiles.* Développement de l'industrie automobile. Appareils réfrigérants. Les « silencieux ». Les régulateurs. Les carburateurs. La magnéto Vesta.

La voiture automobile de course en 1903. Conférence. In-8°, avec figures .... 1 fr.

Leçons sur la navigation aérienne. Édition autographiée épuisée. (Une édition typographiée paraîtra prochainement.)

Leçons sur les méthodes de mesures industrielles des courants continus, faites à la Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux. In-4° de 568 pages, avec 365 figures. Autographié ..... 16 fr.

Rappel des lois fondamentales du magnétisme. Lois fondamentales de l'électrodynamique. Electrodynamomètres. Wattmètres. Le circuit magnétique. Applications aux calculs des dynamos. Champ magnétique d'un courant circulaire. Galvanomètres à aimants mobiles. Galvanomètres à circuit mobile. Emploi de ces instruments dans l'industrie. Mesure de la résistance d'isolement d'un câble. Ohmmètres. Ampèremètres. Voltmètres. Phénomènes fondamentaux de l'induction. Mesure de la perméabilité magnétique. Perméamètres. Hystérésis magnétique. Cadre tournant dans un champ uniforme. Application à l'étude de l'induit des génératrices à courant continu. Étude expérimentale des dynamos. Étalonnage d'une balance électrodynamique par la méthode du voltamètre. Tableaux numériques. Bibliographie.

Production et utilisation du froid. Préface de E. Malaquin et L. Nerdeux. Grand in-4° de 586 pages, avec 403 figures. Broché, 37 fr. 50; cartonné ..... 40 fr.

L'industrie frigorifique. Machines à gaz liquéfiés par compression. Compresseurs. Condenseurs ou liquéfacteurs. Réfrigérants ou évaporateurs. Le refroidissement des liquides. Applications à la laiterie et à la brasserie. L'entrepôt frigorifique. Les transports. Fabrication de la glace. Le froid en brasserie. Conservation de la viande et du gibier, du poisson, des fruits et des légumes, des œufs. Le froid dans l'industrie laitière. Bibliographie. Tableaux numériques.

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

Digitized by Google

Production et utilisation des gaz p
Cabot Science 00342533
3 2044 092 027 945

Digitized by Google